

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2001091911
PUBLICATION DATE : 06-04-01

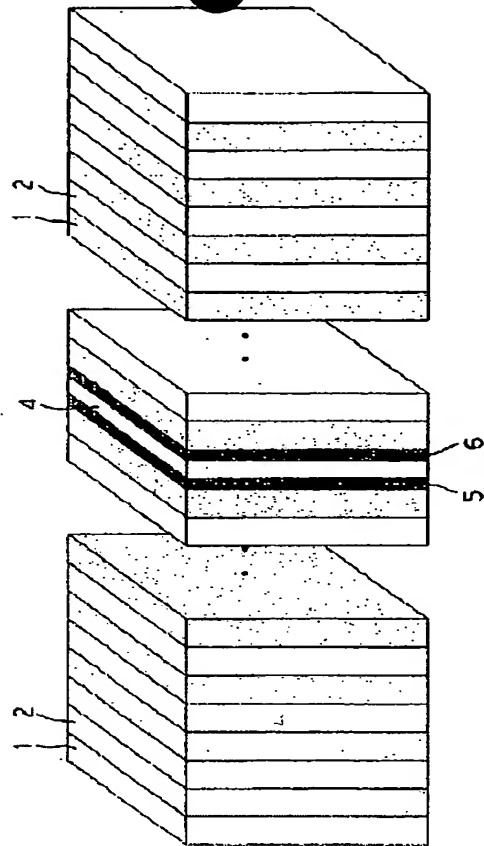
APPLICATION DATE : 24-09-99
APPLICATION NUMBER : 11271240

APPLICANT : SONY CORP;

INVENTOR : SUZUKI MASAYUKI;

INT.CL. : G02F 1/01 G10K 11/16

TITLE : FUNCTIONALITY MATERIAL AND
FUNCTIONAL ELEMENT



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a functionality material and a functional element capable of changing the transmission wavelength of the light and ultrasonic waves or the like by a signal from the outside.

SOLUTION: Means 4, 5, 6 disturbing the periodicity of electromagnetic waves or sound waves are provided at least at a part of periodic structure having the same period as the wavelength of the electromagnetic waves or the wavelength of the sound waves and, then, the transmission wavelength of the waves or the like is controlled by controlling the means with the external signal.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-91911

(P2001-91911A)

(43)公開日 平成13年4月6日(2001.4.6)

(51)Int.Cl.¹

識別記号

F I

ターム(参考)

G 0 2 F 1/01

G 0 2 F 1/01

F 2 H 0 7 9

G 1 0 K 11/16

G 1 0 K 11/16

A 5 D 0 6 1

Z

審査請求 未請求 請求項の数87 O L (全 31 頁)

(21)出願番号 特願平11-271240

(22)出願日 平成11年9月24日(1999.9.24)

(71)出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72)発明者 鈴木 真之

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ

ー株式会社内

(74)代理人 100082762

弁理士 杉浦 正知

Fターム(参考) 2H079 AA02 AA07 AA08 BA03 CA02

CA07 DA04 DA05 EA13 EB17

EB24

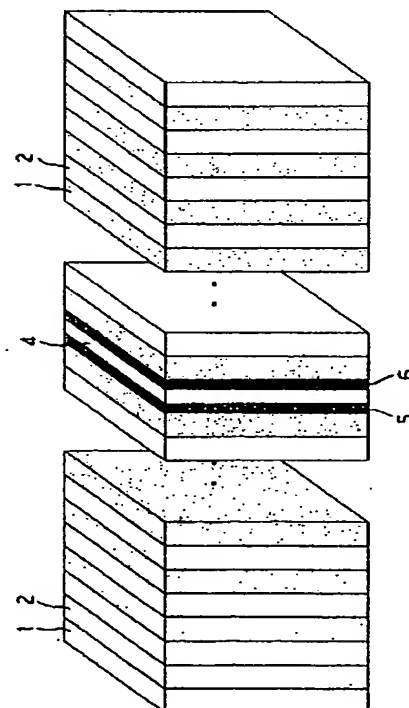
5D061 FF05

(54)【発明の名称】 機能性材料および機能素子

(57)【要約】

【課題】 外部からの信号により光や超音波などの透過波長を変化させることができる機能性材料および機能素子を提供する。

【解決手段】 電磁波の波長または音波の波長と同程度の周期構造の少なくとも一か所に周期性を乱す手段4、5、6を設け、それを外部信号により制御することにより透過波長などを制御する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 電磁波の波長と同程度の周期の周期構造の少なくとも一か所に周期性を乱す手段が設けられた構造を有し、

上記周期性を乱す手段は外部から制御可能であることを特徴とする機能性材料。

【請求項2】 外部から上記周期性を乱す手段を制御することにより、上記周期性を乱す手段に運動機能または屈折率変化を生じさせることを特徴とする請求項1記載の機能性材料。

【請求項3】 外部から上記周期性を乱す手段を制御することにより、上記構造に入射する第1の電磁波を少なくとも一つの属性が上記第1の電磁波と異なる第2の電磁波に変換することを特徴とする請求項1記載の機能性材料。

【請求項4】 上記属性は、電磁波の進行方向、波長、強度、偏波方位、空間コヒーレンスまたは波長コヒーレンスであることを特徴とする請求項3記載の機能性材料。

【請求項5】 上記周期構造は1次元、2次元または3次元の周期構造であることを特徴とする請求項1記載の機能性材料。

【請求項6】 上記周期構造の周期は電磁波の波長の1/50～50倍であることを特徴とする請求項1記載の機能性材料。

【請求項7】 上記周期構造の周期は電磁波の波長の1/5～5倍であることを特徴とする請求項1記載の機能性材料。

【請求項8】 上記周期構造は同一の要素を積層、配置または組み上げることにより形成されたものであり、上記周期性を乱す手段は上記要素と異なる要素からなることを特徴とする請求項1記載の機能性材料。

【請求項9】 上記周期構造は2種類以上の物質を積層、配置または組み上げることにより形成されたものであり、上記周期性を乱す手段は上記物質と異なる物質からなることを特徴とする請求項1記載の機能性材料。

【請求項10】 上記周期構造は2種類以上の物質を積層、配置または組み上げることにより形成されたものであり、上記周期性を乱す手段は外部から信号を受けて運動機能を発現する物質を含むことを特徴とする請求項1記載の機能性材料。

【請求項11】 上記周期構造を構成する物質は誘電体であることを特徴とする請求項10記載の機能性材料。

【請求項12】 上記誘電体は酸化物、フッ化物、酸化物間の固溶体、フッ化物間の固溶体、カルコゲナイド化合物、半導体単体および半導体単体間の固溶体からなる群より選ばれた少なくとも一種類の物質であることを特徴とする請求項11記載の機能性材料。

【請求項13】 上記酸化物は TiO_2 、 SiO_2 、 ZrO_2 、 CeO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 、 Si_xO_y 、

ThO_2 、 SnO_2 、 In_2O_3 、 ZnO 、 La_2O_3 、 Nd_2O_3 、 Sb_2O_3 、 Bi_2O_3 、 Pr_6O_{11} 、 Ti_xO_y 、 CaO および SrTiO_3 からなる群より選ばれた少なくとも二種類の酸化物であることを特徴とする請求項12記載の機能性材料。

【請求項14】 上記フッ化物は MgF_2 、 CeF_3 、 LaF_3 、 NdF_3 、 PbF_2 、 NaF 、 Na_3AlF_6 、 LiF および CaF_2 からなる群より選ばれた少なくとも二種類のフッ化物であることを特徴とする請求項12記載の機能性材料。

【請求項15】 上記カルコゲナイド化合物は ZnS 、 ZnSe 、 CdS 、 CdSe 、 CdTe 、 PbS 、 PbTe および Sb_2S_3 からなる群より選ばれた少なくとも二種類のカルコゲナイド化合物であることを特徴とする請求項12記載の機能性材料。

【請求項16】 上記半導体単体は Si 、 Ge および Te からなる群より選ばれた少なくとも二種類の半導体単体であることを特徴とする請求項12記載の機能性材料。

【請求項17】 上記運動機能を発現する物質は圧電性物質または電気光学効果を有する物質であることを特徴とする請求項10記載の機能性材料。

【請求項18】 上記運動機能を発現する物質はペロブスカイト型圧電性物質またはイルメナイト型圧電性物質であることを特徴とする請求項10記載の機能性材料。

【請求項19】 上記ペロブスカイト型圧電性物質は $\text{Pb}(\text{ZrTi})\text{O}_3$ 、 $(\text{PbLa})(\text{ZrTi})\text{O}_3$ 、 BaTiO_3 、 $(\text{BaSrCa})(\text{TiZrSnHf})\text{O}_3$ および PbTiO_3 からなる群より選ばれた少なくとも一種類のペロブスカイト型圧電性物質であることを特徴とする請求項18記載の機能性材料。

【請求項20】 上記イルメナイト型圧電性物質は LiNbO_3 または LiTaO_3 であることを特徴とする請求項18記載の機能性材料。

【請求項21】 上記運動機能を発現する物質は $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ 、 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 、 $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ 、 KDP 、 $\text{K}(\text{TaNb})\text{O}_3$ 、 $(\text{SrBa})\text{Nb}_2\text{O}_6$ 、 ZnO および $(\text{ZnMg})\text{O}$ からなる群より選ばれた少なくとも一種類の圧電性物質であることを特徴とする請求項10記載の機能性材料。

【請求項22】 上記運動機能を発現する物質は対称中心を有しない半導体材料であることを特徴とする請求項10記載の機能性材料。

【請求項23】 上記対称中心を有しない半導体材料は CdTe 、 GaAs 、 InP 、 ZnS 、 ZnSe およびこれらの半導体に微量の活性金属イオンがドーピングされたものであることを特徴とする請求項22記載の機能性材料。

【請求項24】 上記運動機能を発現する物質はホスト・ゲスト型無機有機複合物質であることを特徴とする請

求項10記載の機能性材料。

【請求項25】 上記ホスト・ゲスト型無機有機複合物質において、ホストが無機層状物質であり、母体物質が層状ペロブスカイト・ニオブ系物質、層状ペロブスカイト銅系物質、層状チタン・ニオブ酸塩、層状岩塩酸化物、遷移金属酸化物ブロンズ系物質、遷移金属オキソ塩化物、層状ポリケイ酸塩、層状粘土鉱物、ハイドロタルサイト、遷移金属カルコゲナイド、リン酸ジルコニウム塩またはグラファイトであることを特徴とする請求項24記載の機能性材料。

【請求項26】 上記層状ペロブスカイト・ニオブ系物質は KLaNb_2O_7 、 $\text{KCa}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ 、 $\text{RbCa}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ 、 $\text{CsCa}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ または $\text{KNaCa}_2\text{Nb}_4\text{O}_{13}$ であることを特徴とする請求項25記載の機能性材料。

【請求項27】 上記層状ペロブスカイト銅系物質は $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ または $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ であることを特徴とする請求項25記載の機能性材料。

【請求項28】 上記層状チタン・ニオブ酸塩は KTiNbO_5 、 $\text{K}_2\text{Ti}_4\text{O}_9$ または $\text{K}_4\text{Nb}_6\text{O}_{17}$ であることを特徴とする請求項25記載の機能性材料。

【請求項29】 上記層状岩塩酸化物は LiCoO_2 または LiNiO_2 であることを特徴とする請求項25記載の機能性材料。

【請求項30】 上記遷移金属酸化物ブロンズ系物質は MoO_3 、 V_2O_5 、 WO_3 または ReO_3 であることを特徴とする請求項25記載の機能性材料。

【請求項31】 上記遷移金属オキソ塩化物は FeOCl 、 VOCl または CrOCl であることを特徴とする請求項25記載の機能性材料。

【請求項32】 上記層状ポリケイ酸塩は $\text{Na}_2\text{O}-4\text{SiO}_2-7\text{H}_2\text{O}$ であることを特徴とする請求項25記載の機能性材料。

【請求項33】 上記層状粘土鉱物はスメクタイト、バーミキュライトまたはマイカ雲母であることを特徴とする請求項25記載の機能性材料。

【請求項34】 上記遷移金属カルコゲナイドは TaSe_2 、 TaS_2 、 MoS_2 または VSe_2 であることを特徴とする請求項25記載の機能性材料。

【請求項35】 上記運動機能を発現する物質の両側面に電界を印加するための導電性物質が形成されていることを特徴とする請求項10記載の機能性材料。

【請求項36】 上記運動機能を発現する物質の両側面に電界を印加するための導電性物質が形成されていることを特徴とする請求項10記載の機能性材料。

【請求項37】 上記運動機能を発現する物質は上記周期構造を構成する物質と屈折率が異なることを特徴とする請求項36記載の機能性材料。

【請求項38】 上記運動機能を発現する物質は上記周

期構造を構成する物質と屈折率が同一であることを特徴とする請求項36記載の機能性材料。

【請求項39】 Aを導電性物質からなる薄膜、BをAと屈折率が異なる圧電性物質または電気光学効果を有する物質からなる薄膜、CをAおよびBと屈折率が異なる常誘電体からなる薄膜としたとき、上記構造がABACの順で積層された部分を含むことを特徴とする請求項10記載の機能性材料。

【請求項40】 上記構造は導電性物質からなる薄膜とこの薄膜と屈折率が異なる圧電性物質または電気光学効果を有する物質からなる薄膜とが周期的に積層された部分を含むことを特徴とする請求項10記載の機能性材料。

【請求項41】 上記機能性材料がフレキシブルな基板上に形成されて人工表皮を構成することを特徴とする請求項10記載の機能性材料。

【請求項42】 上記機能性材料がシリコン基板上に形成されて人工表皮を構成することを特徴とする請求項10記載の機能性材料。

【請求項43】 上記機能性材料が基板上に互いに分離して2次元的に周期的に形成されて人工表皮を構成し、一部の上記機能性材料が外部からの信号に対して変形することを特徴とする請求項10記載の機能性材料。

【請求項44】 上記周期構造は2種類以上の物質を積層、配置または組み上げることにより形成されたものであり、上記周期性を乱す手段は外部から信号を受けて屈折率が変化する物質を含むことを特徴とする請求項1記載の機能性材料。

【請求項45】 上記屈折率が変化する物質は極性有機物質であることを特徴とする請求項44記載の機能性材料。

【請求項46】 上記屈折率が変化する物質は液晶材料であることを特徴とする請求項44記載の機能性材料。

【請求項47】 上記液晶材料は電界配向性液晶材料であることを特徴とする請求項46記載の機能性材料。

【請求項48】 上記屈折率が変化する物質は尿素およびその関連物質であることを特徴とする請求項44記載の機能性材料。

【請求項49】 上記屈折率が変化する物質は二硫化炭素およびその関連物質であることを特徴とする請求項44記載の機能性材料。

【請求項50】 上記屈折率が変化する物質はスピロピラン系化合物、 WO_3 系エレクトロクロミズム関連物質またはフォトクロミズム無機酸化物であることを特徴とする請求項44記載の機能性材料。

【請求項51】 上記フォトクロミズム無機酸化物は LiNbO_3 、 Fe 、 BaTiO_3 、 Ce または SrTiO_3 、 Fe であることを特徴とする請求項50記載の機能性材料。

【請求項52】 上記周期性を乱す手段は光照射または

電界印加により変形する物質からなることを特徴とする請求項1記載の機能性材料。

【請求項53】 上記周期構造は基板上に印刷により形成されたドット群からなることを特徴とする請求項1記載の機能性材料。

【請求項54】 電磁波の波長と同程度の周期の周期構造の少なくとも一か所に周期性を乱す手段が設けられた構造を有し、

上記周期性を乱す手段は外部から制御可能であることを特徴とする機能素子。

【請求項55】 基板上に周期的に形成された突起群により上記周期構造が形成された一対の上記機能素子がそれらの突起群を内側にして互いに対向し、かつ可動に配置されていることを特徴とする請求項54記載の機能素子。

【請求項56】 基板上に周期的に配置された圧電素子群により上記周期構造が形成され、選択された上記圧電素子が外部からの信号を受けて反り返るように構成されていることを特徴とする請求項54記載の機能素子。

【請求項57】 上記周期構造は2種類以上の物質を積層、配置または組み上げることにより形成されたものであり、上記周期性を乱す手段は外部から信号を受けて運動機能を発現する物質を含むことを特徴とする請求項54記載の機能素子。

【請求項58】 上記周期構造は互いに対向する一対の面を含む6面からなる立体形状を有し、上記一対の面には上記運動機能を発現する物質に電界を印加するための電極がそれぞれ設けられており、ブロードな波長分布を有する光を上記電極の面にほぼ平行に入射させる際に、上記電極を用いて上記運動機能を発現する物質に電界を印加することにより、透過してくる光の波長を変化させることを特徴とする請求項57記載の機能素子。

【請求項59】 音波の波長と同程度の周期の周期構造を有することを特徴とする機能性材料。

【請求項60】 上記周期構造に入射する第1の音波を少なくとも一つの属性が上記第1の音波と異なる第2の音波に変換することを特徴とする請求項59記載の機能性材料。

【請求項61】 上記属性は、音波の進行方向、波長、強度、空間コヒーレンスまたは波長コヒーレンスであることを特徴とする請求項60記載の機能性材料。

【請求項62】 上記周期構造は1次元、2次元または3次元の周期構造であることを特徴とする請求項59記載の機能性材料。

【請求項63】 上記周期構造の周期は音波の波長の1/50～50倍であることを特徴とする請求項59記載の機能性材料。

【請求項64】 上記周期構造の周期は音波の波長の1/5～5倍であることを特徴とする請求項59記載の機能性材料。

【請求項65】 上記音波は超音波であることを特徴とする請求項59記載の機能性材料。

【請求項66】 上記周期構造は同一の要素を積層、配置または組み上げることにより形成されたものであることを特徴とする請求項59記載の機能性材料。

【請求項67】 上記周期構造は基板上に印刷により形成されたドット群からなることを特徴とする請求項59記載の機能性材料。

【請求項68】 上記周期構造は糸状の物質からなることを特徴とする請求項59記載の機能性材料。

【請求項69】 上記周期構造は基板上に周期的に配置されたベルチェ素子群からなることを特徴とする請求項59記載の機能性材料。

【請求項70】 音波の波長と同程度の周期の周期構造の少なくとも一か所に周期性を乱す手段が設けられた構造を有することを特徴とする機能性材料。

【請求項71】 上記周期構造に入射する第1の音波を少なくとも一つの属性が上記第1の音波と異なる第2の音波に変換することを特徴とする請求項70記載の機能性材料。

【請求項72】 上記属性は、音波の進行方向、波長、強度、空間コヒーレンスまたは波長コヒーレンスであることを特徴とする請求項71記載の機能性材料。

【請求項73】 上記周期構造は1次元、2次元または3次元の周期構造であることを特徴とする請求項70記載の機能性材料。

【請求項74】 上記周期構造の周期は音波の波長の1/50～50倍であることを特徴とする請求項70記載の機能性材料。

【請求項75】 上記周期構造の周期は音波の波長の1/5～5倍であることを特徴とする請求項70記載の機能性材料。

【請求項76】 上記音波は超音波であることを特徴とする請求項70記載の機能性材料。

【請求項77】 上記周期構造は同一の要素を積層、配置または組み上げることにより形成されたものであることを特徴とする請求項70記載の機能性材料。

【請求項78】 上記周期構造は基板上に印刷により形成されたドット群からなり、上記周期性を乱す手段は上記基板上に印刷により形成された上記ドットと異なる物質からなるドット群からなることを特徴とする請求項70記載の機能性材料。

【請求項79】 上記周期構造は糸状の物質からなり、上記周期性を乱す手段は上記物質と異なる糸状の物質からなることを特徴とする請求項70記載の機能性材料。

【請求項80】 音波の波長と同程度の周期の周期構造の少なくとも一か所に周期性を乱す手段が設けられた構造を有し、

上記周期性を乱す手段は外部から制御可能であることを特徴とする機能性材料。

【請求項81】 外部から上記周期性を乱す手段を制御することにより、上記周期性を乱す手段の近傍の気体の密度の変化を生じさせることを特徴とする請求項80記載の機能性材料。

【請求項82】 外部から上記周期性を乱す手段を制御することにより、上記構造に入射する第1の音波を少なくとも一つの属性が上記第1の音波と異なる第2の音波に変換することを特徴とする請求項80記載の機能性材料。

【請求項83】 上記属性は、音波の進行方向、波長、強度、空間コヒーレンスまたは波長コヒーレンスであることを特徴とする請求項82記載の機能性材料。

【請求項84】 上記周期構造は1次元、2次元または3次元の周期構造であることを特徴とする請求項80記載の機能性材料。

【請求項85】 上記周期構造の周期は音波の波長の1/50～50倍であることを特徴とする請求項80記載の機能性材料。

【請求項86】 上記周期構造の周期は音波の波長の1/5～5倍であることを特徴とする請求項80記載の機能性材料。

【請求項87】 上記周期構造は同一の要素を積層、配置または組み上げることにより形成されたものであることを特徴とする請求項80記載の機能性材料。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、機能性材料及び機能素子に関し、特に、従来の光学部品に革命をもたらすだけでなく、光を始めとする電磁波や超音波を始めとする音波を扱う分野等、多方面の用途に適用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】従来より使用されている干渉フィルター等の光学素子は、あらかじめ目的の透過／反射波長域を設定して積層膜を作製するため、後で外部から波長を選択することは全く不可能であった。また、レーザーダイオードにおいても、出射する光の波長を設定して材料設計が行われるのが通常であり、後で外部から波長を選択することは全く不可能であった。一方、波長選択の方法としては、極単純にはプリズム等を用いることが考えられるが、波長及び構成物質の屈折率により光路方向が変わるため、集積化等の点で大きな問題があった。

【0003】一方最近では、「フォトリック結晶」という新しい物理概念が生まれて、多くの研究者が興味をもって取り組み始めている。対象としている電磁波での誘電率が、その電磁波の波長程度の周期性（必ずしもマクロスケールでの周期性でなくても5周期程度でも良い）を有している媒質では、これまでの物理概念でいうところの結晶内での電子のバンド構造に類似した、「フォトリック・バンド」を形成することが、大高らによる理論

的アプローチによって始めて報告されている（(1)K.Ohtaka, Phys. Rev. B., 19(1979)5057-5067 (2)K.Ohtaka and Y. Tanabe, J. Phys. Soc. Jpn., 65(1996)2276-2284 (3)大高一雄、日本物理学会誌、52(1997)328-335 (4)H.Miyazaki and K.Ohtaka, Phys. Rev. B., 58(1998)6920-6937）。さらに、このようなフォトリック結晶では、特定の波長の光が抑制される「フォトリック・バンドギャップ」の存在がYablonovitch（(5)E.Yablonovitch, Phys. Rev. Lett., 58(1987)2059-2062）とJohn（(6)S. John, Phys. Rev. Lett., 58(1987)2486）により同時期に独立に報告されている。すなわち、簡単に言えば、周期性を目的にあった形で形成しさえすれば、入射光の特定波長を抑制したり、周期性の一部に乱れを挿入してやることにより、特定の波長の光のみを透過させることができるという技術的裏付けがなされたわけである。

【0004】この周期性は、積層膜のような1次元だけでなく、球体を面に配置させた2次元構造、さらには、球やサイコロ状の物体を箱に密に積み重ねた3次元構造と、その応用構造は幅が広く、さらに周期性を乱す構造を挿入する場合も、設計目的に合わせて、任意に配置することができるという大きな自由度がある。光を自由に屈折／導波することができることが報告（(7)A.Mekis, J. C. Chen, I. Kurland, S. Fan, P. R. Villeneuve and J. D. Joannopoulos, Phys. Rev. Lett., 77(1996)3787-3790 (8)J. D. Joannopoulos, P. R. Villeneuve and S. Fan, Nature, 386(1997)143-149 (9)S.-Y. Lin, E. Chow, V. Hietala, P. R. Villeneuve and J. D. Joannopoulos, Science, 282(1998)274-276）されて、半導体分野への応用（(10)馬場俊彦、池田充貴、神沢尚久、ハンス・ブロム、応用物理、第67巻、第9号（1998）1041-1045）等、広く研究が開始されている。非常に脚光を浴びている領域であることから最近では、雑誌（(11)日経エレクトロニクス、No. 730(1998)57-63）やその他の文献（(12)泉修、川上彰二郎、化学工業、1999年1月号、pp. 47-52 (13)谷内哲夫、金属、Vol. 68, No. 6(1998)p. 26-34）にもわかりやすく取り上げられている。

【0005】すなわち、このフォトリック結晶においては、周期性を乱す異物を入れることによって、大きく光物性を変化させることができることが、理論と実験双方からわかってきたのである。これは、電子のバンド構造において、半導体にキャリアをドーピングするとバンドギャップ中に準位が形成されるのと類似のものである。

【0006】後述のように、この発明による機能素子は、誘電体の光の波長程度での周期性を利用した従来の静的な効果を狙った素子とは大きく異なっており、制御性を重視する観点から、中に挿入する異物（＝周期性を乱す物質）に外部からの信号で何らかの物性が変化し得る複合材料及び素子を提供しようとするものである。これまでには、周期性を乱す「異物」あるいは「不純物」のユニークさについて言及したものには、以下のような

報告例 (14)谷田貝豊彦、光学、第28巻、第1号 (1999) pp.15-21 (15)K.Harada,K.Munakata,M.Itoh,N.Yoshikawa,H.Yonezu,S. Umegaki and T.Yatagai, Jpn.J. Appl. Phys., 37(1998) 4393-4396 (16)学振未来開拓学術研究: 「次世代人工物質・材料の探索的研究」特集号 (第1回公開シンポジウム講演予稿集) 平成11年6月15日-16日 (於: 理化学研究所) 日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業/ニュース第5号 (1999) p.60-67)があるが、いずれも静的な物性であり、静的なデバイスのみに関連されており、動的な挙動や制御については一切触れられていないのが現状である。

【0007】このように現時点での研究段階では、この理論のさらなる確立とオーソドックスな静的な、あるいは予め設計された構造での実験しか検討されておらず、これらの特性を時間的に変化させようとする工夫はなされていない。なお、上記文献(16)においては異物に非線形物質を用いているが、これは外部制御をするものではない。

【0008】さらに、本発明者の知る限りにおいて、この「フォトニック結晶」に関する特許文献としては、特許第2918881号、特開平11-218627号公報、特開平10-284806号公報、特開平11-186657号公報、特開平10-83005号公報がある。

【0009】しかしながら、これらの文献はこの発明とは殆ど関連性を有していない。すなわち、特許第2918881号では、半導体活性層内に、周期的酸化状態を形成させることにより、多層反射膜を形成して共振器ミラーとしてレーザー発振させるものであり、この発明と全く異なる。特開平11-218627号公報では、誘電体スラブ光導波路に三角格子状の屈折率変化領域(球状)が設けられていることを特徴とするものであり、フォトニック結晶の極々一部を記述しているに過ぎない。これは、例えば、文献(17)永山国昭、表面、Vol.31.No.5(1993)353-360)を参照すればわかる。また、この特開平11-218627号公報では、制御性には一切触れられておらず、この発明とは無関係と言える。さらに、特開平10-284806号公報及び特開平11-186657号公報はいずれも、半導体レーザーの外部にフォトニック結晶を設けた形態についてのものであり、やはりこの発明とは異なる。一方、特開平10-83005号公報については、この発明と関連する内容も含んでいるので、その内容とこの発明との相違点を以下の(1)～(5)に明確にしておく。

【0010】(1) 特開平10-83005号公報では、16個の請求項のうち10個の請求項が「フォトニック・バンド端に対応する光の波長が、透過させようとする光の波長の近傍に設定されている」ことを限定している。しかしながら、この発明の特徴は、周期性のあるフォトニック結晶に対して、一部周期性を乱す「異物」

を挿入し、かつ、その異物に「運動機能性」や「屈折率変化」を外部からの信号刺激で誘発させることによって、特開平10-83005号公報に記述されている内容よりもより新規な効果を生み出すことにある。これに対して、この発明では、透過させようとする光の波長が、バンド端近傍に位置している必要は全くなく、透過波長は、異物をどのような形で挿入するかを設定すれば任意に設定可能である。

【0011】(2) 特開平10-83005号公報では、周期構成要素として、レジストライン、光ファイバー・コア、回折格子、相分離型ブロック共重合体等、また、周期性を変化させるツールとして超音波等が記述されている。しかしながら、回折格子をフォトニック結晶として用いるためには、表面に刻まれた凹凸溝に対して、入射光が周期性を感じるように光を入射させなければならず、光束の大部分は効果を受けることなく出射されてしまい非効率である。本来であれば、回折格子は、特定の斜入射光を想定しているが、その設計では、干渉フィルターのような解析的な厳密な解を出せないのが実情である(例えば、(18)松田豊稔、奥野洋一、光学、第27巻、第11号(1998)626-631)。したがって、そのような状況下で、仮に回折格子を本来の使用に則した形で、さらにフォトニック結晶へ適用することは、現段階では、その物理的意義は予測が極めて困難と考えられる。このため、「フォトニック・バンドを形成する回折格子」との記述が多用されているが、これは単に非効率な光学配置を規定しているに過ぎない。

【0012】また、特開平10-83005号公報では、超音波を周期性を変えるツールとして考えているが、これは今日良く知られているラマン・ナズ散乱と類似のものである。この技術は、現在ある周期性を別の周期性に変えるという点では新規性があるかも知れないが、この発明では、全体の周期性を変えるものではなく、一部を変えるという点が極めて重要な特徴であり、ここに大きな相違点がある。

【0013】(3) 特開平10-83005号公報では、「回折格子の表と裏側に金属膜を形成した光機能素子」に関して、5個の請求項が記載されているが、いずれもフォトニック・バンドを形成している回折格子を使用しているとの限定がなされており、上記と同様に、非効率な配置、すなわち表面に刻まれた凹凸溝面と平行な入射光配置を取らねばならないことを意味する。しかしながら、この発明では、このような配置に限定されるものではないし、回折格子をフォトニック結晶として使用する等という限定されるような制約はない。

【0014】(4) 特開平10-83005号公報では、最後の請求項に、回折格子にはさまれた形で電気光学材料(外部から電圧が印加される)を使用するアイデアが記されている。しかしながら、これも回折格子という限定枠に入っており、この発明とは、光学配置の点で

も大きく異なる(特開平10-83005号公報の図15参照)。

【0015】(5)特開平10-83005号公報では、「フォトリソ・バンド端の近傍で群速度 $d\omega(k)/dk$ が低下して0に近づくことに着目して・・・」との記述があるが(段落番号0021)、これはバンドギャップが新たに形成される際の境界波長では当然生じる帰結であり、上記文献(1)～(6)の範疇に属すると考えられる。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】すでに述べたように、これまでに提案された光学素子は、あらかじめ設計された形で提供されるしかなく、その場での外部制御により波長を選択するには、システム全体を動かしたりする必要があり、応答速度が極めて悪かった。

【0017】一方、アクチュエータ/運動機能素子の光学部品への応用は、リニアモータや回転等の動きを用いた焦点補正等の極限られた用途しかなかった。

【0018】このような背景の下に、非常に小さな動き(割合としては、小さいとは必ずしも言えない)によって、別次元の物理関数を大きく変え、これにより、色調を変化させる人工皮膚の実現や、光通信等の分野に大きく貢献することができる技術が求められていた。

【0019】したがって、この発明の目的は、外部からの信号により光の透過波長を変化させることができる機能性材料及び機能素子を提供することにある。

【0020】より一般的には、この発明の目的は、外部からの信号により、電磁波の透過波長を変化させたり、入射電磁波を属性の異なる電磁波に変換したりすることができる機能性材料及び機能素子を提供することにある。

【0021】この発明の他の目的は、音波の透過波長を変化させたり、入射音波を属性の異なる音波に変換したりすることができる機能性材料及び機能素子を提供することにある。

【0022】この発明の他の目的は、外部からの信号により、音波の透過波長を変化させたり、入射音波を属性の異なる音波に変換したりすることができる機能性材料及び機能素子を提供することにある。

【0023】

【課題を解決するための手段】本発明者は、上記課題を解決するために、鋭意検討を行った。以下にその概要を説明する。

【0024】これまでに述べてきたように、現状の光学素子は、誘電体の光の波長程度での周期性を利用した静的なものに限られている。しかしながら、制御性を重視すると、周期構造中に挿入する「異物」として外部からの信号で何らかの物性が変化し得る物質あるいは要素を用いるのが有効である。本発明者はこの点を十分熟慮し、以下のような結論を得た。

【0025】本発明者は、フォトリソ結晶を使用する上での最大の利点は、周期性を乱す異物(場合によっては、周期構成物そのものであってもよい)に運動機能を付与し、動的な変化をさせることにより、大きな光学特性の時間的変化を得ることができることであると考えた。なお、ここで異物に与える機能として運動機能を挙げたが、ときには、この機能が誘電率変化であってもよいし、外部入力に対して非線形な反応を示す運動機能材料、あるいは光学機能材料のいずれであってもよい。異物として挿入する運動機能発現物質としては、PZT、PLZT等のペロブスカイト型酸化物に代表される圧電性物質や、ポリフッ化ビニリデン(PVDF)が好適である。異物として挿入可能な誘電率変化物質としては、電気光学効果やフォトリフレクティブ効果を有する物質群や強誘電性液晶、電界配向性液晶といった液晶関連物質群、それにアゾベンゼン系で代表されるシス・トランス光異性化物質や、スピロピロン系/タングステン酸化物系等で代表されるフォトリソ材料群等、それに直接外部からの光の偏光状態に分子が整列する二硫化炭素や尿素関連物質群が好適である。その他運動機能材料としては、大きな変位量が取れる以下の素子等を用いることも十分可能である。

【0026】①高分子ゲル

②形状記憶合金

③水素吸蔵合金

④流体圧利用素子

⑤静電気利用素子

⑥磁歪素子

⑦光/光圧電素子

さらに、無機・有機複合材料、例えば層状酸化物に有機アミンをインターカレートしたような物質群等も、そのC軸長変位の観点から十分な運動機能材料と見なせる訳であり、今後の有力候補の一つである。

【0027】上記した技術は、無機・有機複合材料以外には、いずれも今日一般に広く知られているものである。

【0028】図1に上記アクチュエータのいくつかの種類の特性表をまとめて示す。なお、図1に記載した値は、今日知られている典型的なものであり、若干の幅が存在することは言うまでもない。図1において、インターカレーション物質の電界による変位の値は、理論的推定値である。

【0029】アクチュエータの特性で最も重要な物性値として、変位量(伸縮割合)、発生力(耐圧)、応答速度(制御速度)がある。これらの三つの特性を同時に満足させる、すなわち、変位量の増加と発生力の増加、さらに応答速度の短縮化を図ることができれば、今後の材料/デバイスへ向けて大きな進歩となるが、図1からもわかるように、現状では容易なこととは言えない。ただし、運動機能素子の使い方次第であるので、これらの全てが候補であることに変わりはない。そうした中で、変

位置と応答速度に優れているであろうと考えられる無機・有機複合材料であるインターカレーション化合物群は未開拓材料であるということもあり、有望である。

【0030】ここで比較のため、考えられる九つの方式それぞれの特徴を以下に簡単に説明しておく。

【0031】圧電セラミックスでは、発生力と高速応答性に関しては問題ないが、伸縮の割合が、0.1%程度に止まっている。実際には、その高速性が超音波技術と融合して、今日、超音波診断や魚群探知器、超音波モーター等で使用されているが、伸縮量を利用したものは、走査型トンネル顕微鏡 (STM) や原子間力顕微鏡 (AFM) の針の位置決めに用いられる高精度アクチュエータ等、極少数の応用に限られている。

【0032】高分子ゲルでは、伸びは数10%からさらに数100%に迫るものもあるが、逆に発生力が著しく低く、重い荷重のものを動かすことは困難である。さらに、伸縮の制御が必ずしも容易ではないのが通例である。また、高分子を基調に構成されているため熱に極めて弱いことが大きな弱点であり、環境に大きく左右される状況である。

【0033】形状記憶合金は、低温で変形を与えた後加熱すると、元の形状に回復するもので、原理的に熱弾性型マルテンサイト変態する材料である。したがって、非可逆な塑性変形とは異なっているものの、その使用においては熱の高低が必要な点、格子による双晶歪を使うため、大きな変位が期待できない等の欠点がある。

【0034】水素吸蔵合金は、可逆性があるものの、原子状水素の粒界拡散による吸蔵反応を利用するものであり、その環境温度と応答性に難がある。さらに反応熱の除去が最大の課題であり、小さなアクチュエータを目指す候補としては現実的とはいえないのが実情である。

【0035】流体圧を利用したものは通例、ゴムと繊維との複合素材でできており、その伸縮性を利用して、空気圧ないし液体圧で駆動させている。アナログ的な運動には最適と思われるが、微細な加工がしにくいことがあり、小型化・集積化という点で課題が残る。

【0036】静電気利用素子では、主としてこれまでに発展してきた半導体シリコンの微細化プロセスを応用したものが多く、文字通り静電気によるクーロン力を利用している。そのため、微細化には非常に好適であるが、発生力の点で若干問題が残る。一番の課題は信頼性であり、摺動部があるため経時変化の可能性が高い。また、環境が作り出す静電気に弱いという難点もある。

【0037】磁歪素子は、一般的に超磁歪効果を用いたものを意味し、室温において 10^{-3} 程度の歪を持つ素材 (例えば、 $Tb-Dy-Fe$ 合金) が知られている。圧電素子と比べても変位量、発生力、質量の小ささいずれの点においても有利である。しかしながら、その致命的な欠点は、素子駆動に外部磁場が必要であるという点である。磁気回路を素子近傍にうまく作り込む技術が課題

である。このようなことから、電圧駆動の圧電素子と比較し、微小化・高密度化に難があると言える。

【0038】光アクチュエータに関しては、例えば光起電力効果を示すPLZT等が知られている。これは、光照射によるその焦電性から起電力が発生し、それに伴い逆圧電効果が現われ、結果的に歪む現象である。非接触駆動という利点を有するが、焦電性を介しての逆圧電による変位であるため、大きな変位は期待しにくいし、また変位を誘導するためのボーリング措置が必要などプロセス上の課題もある。ただ、ピエゾ材料同様、酸化物であり、素子として構築しやすいという決定的な利点を有していることは重要である。

【0039】インターカレーション物質に関しては、溶液駆動方式であれば、配向膜使用ができればという条件付きながら、相当な変位量 (4~5倍以上) を想定できるが、応答速度に難点がある。一方、電界駆動であれば、変位量は10~20%程であるが、応答速度はピエゾ材料並みに速い可能性があり、興味ある材料と言える。

【0040】ここで、これまでに出願されたインターカレーション関連の材料・デバイスについて簡単に説明する。まず最初に、インターカレーション物質を用いた変位素子についてこれまでに提出されたものとしては、

・特開平05-110153号公報

・特開平06-125120号公報

がある。これらの出願では、層状物質へ有機材料を挿入した物質に外部から電界を印加して、挿入された有機物質の配向角度を変化させることによる変位素子が記載されている。しかしながら、フォトニック周期構造体に適用することに関する記述は何ら認められない。

【0041】その他、インターカレーションとアクチュエータとを組み合わせた素子を提案したものとしては、本発明者の知る限りにおいては、

・特開平02-131376号公報

・特開平04-127885号公報

がある。これらの素子は、双方共に、インターカレーション反応に起因する体積膨張を駆動力としている。特開平2-131376号公報は電解質であるポリエチレンオキサイドを黒鉛層間化合物でサンドイッチした構造であり、その層間をLiが輸送されることにより屈曲が生じるもので、一方後者の特開平4-127885号公報は、正/負極に $Ag_{0.7}V_2O_5$ を用い、固体電解質に $4AgI-Ag_2WO_4$ を用いた系である。そのいずれにおいても、有機分子の挿入を原動力とする駆動方法ではなく、無機骨格にイオンを出し入れしようとするものである。しかしながら、フォトニック結晶への導入に関しては全く言及されていない。勿論、ここで記述された物質群は、この発明に適用することが可能である。

【0042】次に、無機・有機インターカレーション物質についてこれまでにされた出願の状況を以下に概観し

て簡潔にコメントする。

【0043】(1) 液晶関連のインターカレーション物質

粘土鉱物等の無機層状化合物に有機物質を挿入させた新規な光位相差板やそれを用い液晶表示装置についての出願として、

- ・特開平05-196819号公報
- ・特開平06-82777号公報
- ・特開平06-82779号公報

があるが、変位に関しては言及されておらず、また、フォトニック結晶への導入に関しては全く言及されていない。

【0044】(2) 複合材料のインターカレーション物質

粘土鉱物等の無機層状化合物と、有機材料の複合化技術(インターカレーションを含んでいるのかどうか不明ではある)について、コート材、成型材、樹脂へのフィラー材等、いわゆる耐熱・構造材料への応用についての出願として、

- ・特開平06-200034号公報
- ・特開平07-126396号公報
- ・特開平08-12899号公報
- ・特開平08-41091号公報
- ・特開平10-264291号公報
- ・特開平11-71465号公報
- ・特開平11-92594号公報
- ・特開平11-92677号公報
- ・特開平11-106670号公報
- ・特開平10-259016号公報
- ・特開平10-259017号公報
- ・特開平10-310420号公報

があるが、光や変位については言及されておらず、また、フォトニック結晶への導入に関しては全く言及されていない。

【0045】(3) フォトクロミズム関連の材料のインターカレーション物質

ハイドロタルサイト型粘土鉱物を中心とした無機層状化合物に有機物質をインターカレートさせた新規なフォトクロミズム現象を応用した技術に関する出願として、

- ・特公平04-16776号公報
- ・特開昭63-251490号公報
- ・特開平02-264246号公報
- ・特開平06-95288号公報
- ・特開平06-95289号公報
- ・特開平06-95290号公報
- ・特開平06-148791号公報
- ・特開平11-71388号公報
- ・特開平06-48742号公報

がある。これらの中には、光記録材料としての観点から、スピロピラン系有機材料のフォトクロミズム効果に

おいて、色変化の安定性や耐久性向上を狙ったもの等がいくつか見られるものの、フォトニック結晶への導入に関しては全く言及されていない。

【0046】なお、フォトクロミズムとは、紫外線などが照射されると構造が変化して、結果的に色が変わり、これに別の波長(例えば可視光)の光が当たる、あるいは熱を加えると、元の構造に戻ることにより色も元に戻る現象を言う。

【0047】(3) エレクトロクロミズム関連の材料のインターカレーション物質

- ・特開平10-206907号公報
- ・特開平10-239714号公報

が出願されているが、いずれも変位素子としての記述はなく、かつ、フォトニック結晶への導入に関しては全く言及されていない。

【0048】(4) 層状発光物質関連の材料のインターカレーション物質

- ・特開昭63-251490号公報
- ・特開平05-32412号公報
- ・特開平09-310065号公報

が出願されているが、いずれも変位素子としての記述はなく、かつ、フォトニック結晶への導入に関しては全く言及されていない。

【0049】(5) 電磁波吸収材関連の材料のインターカレーション物質

- ・特開平08-53571号公報

が出願されているが、変位素子としての記述はなく、かつ、フォトニック結晶への導入に関しては全く言及されていない。

【0050】ところで、インターカレーションという現象を指す言葉は実に広く用いられており、上述したような無機骨格への有機鎖の挿入に止まらない。例えば、エレクトロクロミック素子においては、遷移金属酸化物へのリチウムの挿入による色調変化を応用したものがあり、

- ・特開昭57-208534号公報
- ・特開昭57-208535号公報
- ・特開昭57-208536号公報
- ・特開昭57-208537号公報

などがその一例である。

【0051】コンデンサー構造の一端の電極作製に、このインターカレーション反応を利用した試みが報告されており、

- ・特許第186013号
- ・特許第1949235号
- ・特開昭62-181413号公報

がそれである。

【0052】Li電池の原理に似た全固体型電圧記憶素子の工夫が、インターカレーション反応を利用した形で出願されており、

- ・特開平04-34864号公報
- ・特開平04-34866号公報
- ・特開平04-34868号公報
- ・特許第2734747号

がそれである。

【0053】光インターカレーション反応（光照射に伴って、インターカレーションが起こったり、逆にデインターカレーションが生じたりする現象）についても出願があり、

- ・特開平04-319545号公報
- ・特許第2715233号
- ・特開平07-56195号公報
- ・特開平07-56196号公報

がそれである。

【0054】材料自身の特許としては、 $H_2Ti_5O_{11}nH_2O$ についての

- ・特許第1936988号

があり、吸着剤への応用等が期待されているに過ぎない。吸着剤や触媒関連では、その他に、 $KCa_2Nb_3O_{10}$ 等の無機骨格と有機鎖のインターカレーションに言及した

- ・特許第2653805号
- ・特許第2656778号
- ・特許第1984612号
- ・特開平08-259208号公報

などがある。

【0055】非線形光学への応用を考慮した出願として、

- ・特開平04-168429号公報

があり、光記憶媒体として V_2O_5 を用いた出願として

- ・特許第1708735号

もある。

【0056】光触媒的効用を狙った材料特許も存在し、

- ・特許第2681030号

がある。

【0057】アミンとチタン酸アルカリの層間化合物に
関しては、

- ・特許第1579031号
- ・特許第1367235号
- ・特開昭62-100411号公報

があるが、変位に関しては記述されておらず、このような応用へのアイデアはまだ知られていない。

【0058】また、液晶を用いたアクチュエータ素子に
関する出願として、

- ・特開平03-5720号公報
- ・特開平03-7079号公報
- ・特開平06-324312号公報
- ・特開平09-277518号公報

がある。これらの文献に示した液晶はいずれも電界操作により駆動するものであるが、この発明のようなフォト

ニック結晶への導入に関しては全く言及されていない。

【0059】このように、以上に挙げた出願ではいずれも「フォトリソ周期結晶へ異物を導入して制御する技術的思想」については、微塵も触れられていない。

【0060】以上では光やマイクロ波等の電磁波の特徴である横波を扱う素子について説明したが、次に、音波等の縦波を変調可能な構造について説明する。なお、音波等は媒質が異なれば当然速度が異なる。これから説明する装置は、基本的には空気中で使用可能なものであるが、水等の液中に入れて使用することも可能である。まず、音波と電磁波との相違について簡単に説明を行う。音波は通常の空気中では、約340m/sの伝播速度であるが、電磁波の伝播速度は、それよりも90万倍も速い 3×10^8 m/sである。例えば、超音波洗浄や超音波加工等に使用されている20kHzから200kHz程度の低周波超音波は、周波数で比較すると、電磁波の短波よりも波長の長い長波(LF)に相当する。逆に低周波超音波を同じ波長で比較するとマイクロ波(SHF)に相当する。このような差は、音波の伝播速度と光速との著しい差に由来する。例えば、周波数1MHzの超音波では、その波長は空気中で0.34mmである。一方、電磁波では同じ周波数で300mもある。周期構造体の周期が電磁波や音波の波長程度(1/50~50倍、典型的には数分の1から数倍)であれば、超音波では、mmサイズ以下ミクロン、あるいはサブミクロンまでの範囲の周期構造が想定できる。一方、オーディオ室や無響音室等は、人間の可聴音域を対象としているので、数cm程度から数mの波長であり、その長さに対応した凹凸の壁面構造をしており、これらの考えは、この発明の思想の流れとも一致している。したがって、縦波音波の対応域を超音波領域に限定すれば、mmサイズ以下ミクロン、あるいはサブミクロンまでの範囲の周期構造を考えれば良いことになる。

【0061】さて、横波の電磁波である可視光線が屈折率の周期的変化(誘電率の周期的変化と考えた方が一般的)を必要とすることはこれまでに述べてきた。一方、音波はどんな物理量の周期的変化を必要とするのであろうか。ここで音速を V [m/s]、圧力を P [N/m²]、密度を ρ [kg/m³]とすると、空気中での音速は

$$V = (r \cdot P / \rho)^{1/2}$$

で与えられる。また、密度と温度との関係は一般に

$$\rho_0 = \rho_T (1 + T/273)$$

なる式で近似される。

【0062】これらの2式から温度 T [°C]での音速は以下のような式で表わされる。

【0063】

$$V(T) = 331.5 + 0.60714T$$

すなわち、音波は環境温度で変化する。温度が低い所(1)から高い所(2)へ音波が入ると、屈折の法則に

より、

$$\sin \theta_1 / \sin \theta_2 = V_1 / V_2$$

であるから、 $V_2 > V_1$ であるため、音波は、低温と高温の境界面に近い方向へ屈折する。一般に音波は、気体中よりも液体中の方が速く、液体中よりも固体中の方がさらに速く伝播する。例えば、水では、 1480m/s 、鉄では 5180m/s である。このような著しい伝播速度の差は、空気中から水中への入射、あるいは水中から固体中への入射において、垂直入射から少しでも入射角度を傾けると全反射されてしまう可能性が大きいことを意味する。ここが光の屈折とは大きな違いである。結論として、密度の低い所から密度の高い所へ超音波が入射した場合には、その屈折の方向は、境界面に近い方へ曲がることになる。すなわち、空気を基準に考えると水の屈折率は音波では1以下となる。光では全く逆であることと対照的である。このような違いはあるものの、音波は、波としての性質は同じに扱える訳である。周期的疎密媒体（光では周期的屈折率変化媒体に相当する）に対しては、光のフォトリック・バンドギャップに相当する「ウルトラサウンド・バンドギャップ」が存在する。同時にまた、特定周波数の音波だけを透過する波長選択性や、さらには方向変更、指向性向上なども期待できる。

【0064】参考のために、波長を中心に比較した電磁波と音波との相違を図2にまとめて示す。

【0065】この発明は、本発明者による以上の検討に基づき、さらに検討を加えた結果、案出されたものである。

【0066】すなわち、上記課題を解決するために、この発明の第1の発明は、電磁波の波長と同程度の周期の周期構造の少なくとも一か所に周期性を乱す手段が設けられた構造を有し、周期性を乱す手段は外部から制御可能であることを特徴とする機能性材料である。

【0067】また、この発明の第2の発明は、電磁波の波長と同程度の周期の周期構造の少なくとも一か所に周期性を乱す手段が設けられた構造を有し、周期性を乱す手段は外部から制御可能であることを特徴とする機能素子である。

【0068】第1および第2の発明においては、例えば、外部から周期性を乱す手段を制御することにより、その周期性を乱す手段に運動機能または屈折率変化を生じさせる。あるいは、外部から周期性を乱す手段を制御することにより、上記構造に入射する第1の電磁波を少なくとも一つの属性が第1の電磁波と異なる第2の電磁波に変換する。この属性は、電磁波の進行方向、波長、強度、偏波方位、空間コヒーレンス、波長コヒーレンス等である。周期構造は1次元、2次元または3次元の周期構造のいずれであってもよい。この周期構造の周期は一般には電磁波の波長の $1/50 \sim 50$ 倍、典型的には、電磁波の波長の数分の1～数倍、例えば $1/5 \sim 5$

倍である。この周期構造は、例えば、同一の要素を積層、配置または組み上げることにより形成されたものであり、周期性を乱す手段はこの要素と異なる要素からなる。より具体的には、例えば、この周期構造は2種類以上の物質を積層、配置または組み上げることにより形成されたものであり、周期性を乱す手段はこれらの物質と異なる物質からなる。さらに、例えば、この周期構造は、基板上に印刷により形成されたドット群からなるものであってもよい。

【0069】特に、扱う電磁波が光である場合、例えば、上記の周期構造は2種類以上の物質を積層、配置または組み上げることにより形成されたものであり、周期性を乱す手段は外部から信号を受けて運動機能を発現する物質を含む。この周期構造を構成する物質は典型的には誘電体である。この誘電体は、具体的には、例えば、 TiO_2 、 SiO_2 、 ZrO_2 、 CeO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 、 Si_3O_4 、 ThO_2 、 SnO_2 、 In_2O_3 、 ZnO 、 La_2O_3 、 Nd_2O_3 、 Sb_2O_3 、 Bi_2O_3 、 Pr_6O_{11} 、 Ti_xO_y 、 CaO 、 SrTiO_3 等の酸化物や、 MgF_2 、 CeF_3 、 LaF_3 、 NdF_3 、 PbF_2 、 NaF 、 Na_3AlF_6 、 LiF 、 CaF_2 等のフッ化物、あるいは、これらの酸化物間、フッ化物間の固溶体、さらに、 ZnS 、 ZnSe 、 CdS 、 CdSe 、 CdTe 、 PbS 、 PbTe 、 Sb_2S_3 等のカルコゲナイド化合物、あるいは Si 、 Ge 、 Te 等の半導体単体ないしその固溶体、さらには、これらの物質群から選ばれた二種類以上の物質からなる。また、運動機能を発現する物質は、例えば、 $\text{Pb}(\text{ZrTi})\text{O}_3$ （通称PZT）、 $(\text{PbLa})(\text{ZrTi})\text{O}_3$ （通称PLZT）、 BaTiO_3 、 $(\text{BaSrCa})(\text{TiZrSnHf})\text{O}_3$ 、 PbTiO_3 等のペロブスカイト型圧電性物質、あるいは、 LiNbO_3 、 LiTaO_3 等のイルメナイト型圧電性物質、また、 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ 、 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ 、 $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ 、 KDP 、 $\text{K}(\text{TaNb})\text{O}_3$ 、 $(\text{SrBa})\text{Nb}_2\text{O}_6$ 、あるいは、 ZnO やそれに若干の Mg が固溶した $(\text{ZnMg})\text{O}$ 等の圧電性物質、さらには、 CdTe 、 GaAs 、 InP 、 ZnS 、 ZnSe 、これらの半導体に微量の活性金属イオンがドーピングされたもの等の対称中心を有しない半導体材料である。

【0070】上記の運動機能を発現する物質はホスト・ゲスト型無機有機複合物質であってもよい。例えば、このホスト・ゲスト型無機有機複合物質においては、ホストが無機層状物質であり、その母体物質は以下の物質系である。

【0071】(1) 層状ペロブスカイト・ニオブ系
 KLaNb_2O_7 、 $\text{KCa}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ 、 $\text{RbCa}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ 、 $\text{CsCa}_2\text{Nb}_3\text{O}_{10}$ 、 $\text{KNaCa}_2\text{Nb}_4\text{O}_{13}$

(2) 層状ペロブスカイト銅系

$\text{Bi}_2 \text{Sr}_2 \text{CaCu}_2 \text{O}_8$ 、 $\text{Bi}_2 \text{Sr}_2 \text{Ca}_2 \text{Cu}_3 \text{O}_{10}$

(3) 層状チタン・ニオブ酸塩

KTiNbO_5 、 $\text{K}_2 \text{Ti}_4 \text{O}_9$ 、 $\text{K}_4 \text{Nb}_6 \text{O}_{17}$

(4) 層状岩塩酸化物

LiCoO_2 、 LiNiO_2

(5) 遷移金属酸化物ブロンズ系

MoO_3 、 $\text{V}_2 \text{O}_5$ 、 WO_3 、 ReO_3

(6) 遷移金属オキソ塩化物

FeOCl 、 VOCl 、 CrOCl

(7) 層状ポリケイ酸塩

$\text{Na}_2 \text{O}-4 \text{SiO}_2-7 \text{H}_2 \text{O}$

(8) 層状粘土鉱物

スメクタイト、バーミキュライト、マイカ雲母等

(9) ハイドロタルサイト

$\text{Mg}_6 \text{Al}_2 (\text{OH})_{16} \text{CO}_3 \cdot \text{H}_2 \text{O}$

(10) 遷移金属カルコゲナイド

TaSe_2 、 TaS_2 、 MoS_2 、 VSe_2

(11) リン酸ジルコニウム塩

$\text{Zr} (\text{HPO}_4)_2 \cdot n \text{H}_2 \text{O}$

(12) グラファイト

C

第1および第2の発明においては、例えば、上記の運動機能を発現する物質の両側面に電界を印加するための導電性物質が形成される。この導電性物質としては、例えば、ITO ($\text{In}_2 \text{O}_3 - \text{SnO}_2$ 透明導電性材料)を用いることができる。また、例えば、この運動機能を発現する物質は周期構造を構成する物質と屈折率が異なっていることもあるし、同一であることもある。一つの例では、Aを導電性物質からなる薄膜、BをAと屈折率が異なる圧電性物質または電気光学効果を有する物質からなる薄膜、CをAおよびBと屈折率が異なる常誘電体からなる薄膜としたとき、上記構造はABACの順で積層された部分を含む。さらに、上記構造は導電性物質からなる薄膜とこの薄膜と屈折率が異なる圧電性物質または電気光学効果を有する物質からなる薄膜とが周期的に積層された部分を含むこともある。

【0072】さらに、第1および第2の発明においては、例えば、周期構造は2種類以上の物質を積層、配置または組み上げることにより形成されたものであり、周期性を乱す手段は外部から信号を受けて屈折率が変化する物質を含む。この屈折率が変化する物質は極性有機物質、液晶材料、例えば電界配向性液晶材料、尿素およびその関連物質、二硫化炭素およびその関連物質などである。より具体的には、例えば、屈折率が変化する物質はスピロピラン系化合物、 WO_3 系エレクトロクロミズム関連物質、あるいは、 LiNbO_3 : Fe、 BaTiO_3 : Ce、 SrTiO_3 : Fe等のフォトクロミズム無機酸化物等である。一方、バンド間遷移によって発光する物質を周期構造の内部に含有する材料であって、その

周期構造は、電磁波の波長（励起光の波長、あるいは発光波長）と同程度であり、外部より励起光を入射した際に、その波長域で概略透過する周期構造であり、その励起光が発光物質に照射されるようになっており、その発光物質の電子遷移が基底状態から励起状態へ遷移するが、発光遷移する発光波長に対しては、その周期構造はフォトリック・バンドギャップを形成していることにより、発光物質の発光遷移そのものが禁制状態となっている状態が維持されており、その状態における任意の時間に外部からの制御光により発光物質以外の周期構成物質の形状が変化、あるいは歪むことにより、その周期性が乱されることにより、発光物質が感じるフォトリック場が変化して、ギャップ内部に鋭い透過波長（後述のモバイル・ピーク）のウィンドウが開き、その発光物質のモバイル・ピークの波長のみが発光遷移を許容されるような、時間設定可能な波長選択発光材料もある。

【0073】第1および第2の発明においては、例えば、周期性を乱す手段は光照射または電界印加により変形する物質、例えばPLZTであることもある。

【0074】また、第1の発明による機能性材料は、例えば、フレキシブルな基板やシリコン基板などの上に形成されて人工表皮、例えば人工皮膚を構成することもある。また、この機能性材料が基板上に互いに分離して2次的に周期的に形成されて人工表皮を構成し、一部の機能性材料が外部からの信号に対して変形するようにすることもできる。

【0075】第2の発明においては、例えば、基板上に周期的に形成された突起群により周期構造が形成された一対の機能素子をそれらの突起群を内側にして互いに対向し、かつ可動に配置することもできる。これらの機能素子の相対移動により、突起群同士が互いに食い込むようにすれば、周期構造の周期を実効的に変化させることができる。また、他の例では、基板上に周期的に配置された圧電素子群により周期構造が形成され、選択された圧電素子が外部からの信号を受けて反り返るように構成される。また、例えば、周期構造は2種類以上の物質を積層、配置または組み上げることにより形成されたものであり、周期性を乱す手段は外部から信号を受けて運動機能を発現する物質を含む。具体的には、例えば、記周期構造は互いに対向する一対の面を含む6面からなる立体形状を有し、この一対の面には運動機能を発現する物質に電界を印加するための電極がそれぞれ設けられており、ブロードな波長分布を有する光を電極の面にほぼ平行に入射させる際に、これらの電極を用いて運動機能を発現する物質に電界を印加することにより、透過して光の波長を変化させる。

【0076】この発明の第3の発明は、音波の波長と同程度の周期の周期構造を有することを特徴とする機能性材料である。

【0077】この発明の第4の発明は、音波の波長と同

程度の周期の周期構造の少なくとも一か所に周期性を乱す手段が設けられた構造を有することを特徴とする機能性材料である。

【0078】この発明の第5の発明は、音波の波長と同程度の周期の周期構造の少なくとも一か所に周期性を乱す手段が設けられた構造を有し、周期性を乱す手段は外部から制御可能であることを特徴とする機能性材料である。

【0079】第3、第4および第5の発明においては、例えば、周期構造に入射する第1の音波を少なくとも一つの属性が第1の音波と異なる第2の音波に変換する。この属性は、音波の進行方向、波長、強度、空間コヒーレンス、波長コヒーレンスなどである。周期構造は1次元、2次元または3次元の周期構造のいずれであってもよい。また、周期構造の周期は一般的には音波の波長の $1/50 \sim 50$ 倍、典型的には音波の波長の数分の1～数倍、例えば $1/5 \sim 5$ 倍である。音波は、典型的には、超音波である。この周期構造は、例えば、同一の要素を積層、配置または組み上げることにより形成されたものである。具体的には、例えば、この周期構造は、基板上に印刷により形成されたドット群や糸状の物質、例えばゲル等からなる。特に、第4の発明においては、周期構造は基板上に印刷により形成されたドット群からなり、周期性を乱す手段は基板上に印刷により形成された上記ドットと異なる物質からなるドット群からなり、あるいは、周期構造は糸状の物質からなり、周期性を乱す手段はこの物質と異なる糸状の物質からなる。この周期構造は基板上に周期的に配置されたペルチェ素子群からなることもある。

【0080】特に、第5の発明においては、例えば、外部から周期性を乱す手段を制御することにより、その周期性を乱す手段の近傍の気体、例えば空気の変化する密度を生じさせる。そして、外部から周期性を乱す手段を制御することにより、上記構造に入射する第1の音波を少なくとも一つの属性が第1の音波と異なる第2の音波に変換する。これだけに止まらず、より一般的には、外部から周期性を乱す手段に運動機能を与えて周期性を乱すことを根本にした上で、気体の密度、さらには液体の密度や固体の密度、加えて気体+液体/液体+固体/固体+気体という周期において、いずれか片方の密度を変調する場合もある。

【0081】上述のように構成されたこの発明の第1および第2の発明においては、外部信号により、上記の周期構造を透過する電磁波の波長や出射方位、そのコヒーレンスなどを制御することが可能であり、その波長は、周期構造の周期により任意に選択することができる。すなわち、例えば、数百nmの周期とすることで、可視領域の光を制御することができるし、さらに μm 程度の周期にしてやれば、マイクロ波を制御することができる。さらに、この発明の第3、第4および第5の発明に

おいては、縦波である音波に対しても同様な作用を得ることができ、周期構造に挿入する周期性を乱す手段あるいは異物の密度を変化させてやれば、音波の周波数や方向等の制御が可能である。

【0082】この発明による機能性材料および機能素子によれば、周期性を乱す手段あるいは異物の非常に小さな動きによって、別次元の物理関数を大きく変えられる利点があり、これにより、色調を変化させる人工皮膚の実現や、光通信等の分野に大きく貢献できると考えられる。

【0083】周期構造に周期性を乱す「異物」を挿入する場合、その異物を制御するやり方として、直接電極を異物に接触させる方式と、外部からレーザ光等の強電界を有する光/電磁波を入射させる方式と、外部から超音波を照射する方式との3通りが考えられる。ここで、外部から超音波を照射する方式では、例えば、異物にPZTを用いると、外部から超音波がPZTに照射されると振動を起こすため、その周期に合った形で透過波長が特定の波長間をその振動数で往復運動することになる。

【0084】なお、周期構造物質の少なくとも1種を被制御物質として考えることも当然可能である。つまり、例えば、周期構造の構成要素としてPZT等の運動機能素子を考え、その素子が外部からの電界や超音波で全体運動を起こすというものである。これは、透過波長をシフトさせるのではなく、フォトリック・バンドギャップ端の波長(=エネルギー)を変化・変調させるものである。

【0085】ここで、異物の両側に電極を配置する電界印加方式で考えられる一般的な効果を以下に箇条書に示す。

【0086】(1) 電界ベクトルは、異物の極性方位、あるいは圧電性結晶軸と平行に選ばれることが好ましい。入射光の進行方向と電界印加方向との関係は、中の異物の軸性に依存するため、任意の設計が可能である。例えば、異物の圧電性軸が入射光の進行方向と平行であれば、電界印加方向のそれとおおよそ平行であることが好適であり、異物の圧電性軸が入射光の進行方向と垂直であれば、電界印加方向も入射光軸に対しておおよそ垂直であることが好適である。

【0087】(2) 電極材料の選択によって、いろいろな機能性をさらに付与することができる。例えば、ITOのような透明導電性膜と金属膜とでは、消衰係数が異なることにより、結果的に誘電率が異なるため、新たな設計を用いて、機能性を向上させられる余地がある。

【0088】(3) 直接電極を配備していることにより、効率良く電界強度を高めることが可能であり、結果として高効率な駆動が可能となる。

【0089】(4) 制御系も含めて、全固体にすることができることから、コンパクトにすることが可能である。

【0090】一方、光照射をして機能性を発揮させる場合の一般的な利点として、以下のような点が考えられる。

【0091】(1) 駆動部分を任意に選択することができる。

【0092】(2) 電極や配線等の複雑な周辺備品の必要性がない。

【0093】(3) 閉鎖空間に置かれた駆動素子を外部からレーザ光照射で直接狙い撃ちすることで内部素子を駆動させることができる。

【0094】また、偏光の電界強度により有機鎖の配向変化を利用した機能発現方式では、以下の点が特徴である。

【0095】(1) 照射光の偏光方向で材料の伸縮を起こさせるため、極めて制御性が簡潔容易である。

【0096】(2) 二つの偏光子（ポラライザーとアナライザーと通称呼ばれている）を互いに直交させた状態（通常、この配置をクロスニコル配置と呼ぶ）にして置き、その間に無機・有機インターカレーション材料を配置（積層方向を光軸とほぼ揃った状態にして）した光学アライメントにおいて、ポラライザーを透過した第1の入射光の偏光状況を、第1の光軸とはほぼ直角な方向、すなわちインターカレーション材料においては、積層方向とは垂直な所謂 $a-b$ 面に沿った方向から第2の直線偏光性の強い光線を入射させてることにより、容易に第1の光線の透過光の偏光状態を変化させ、アナライザー透過光の光強度を極めて簡単に変調させることが可能である。このような効果はオブティカル・カー効果と呼んでいるが、従来は液晶を含む液体状態のものが多く知られており、また固体では原子位置を偏光による電界だけでは大きな変位が期待できなかったことから、殆ど実際に使用できるレベルでの報告はなされていないのが現状である。

【0097】一方、波長の長短での効果は、異物の屈折率を変化させるのに役立ち、以下の長所がある。

【0098】(1) インターカレートした有機物質の構造を変化させる方式であることから、屈折率変化効果がある。

【0099】(2) 2波長制御であることから、外部環境光のノイズ低減が可能。

【0100】また、簡単な光波長選択が可能であることから、光素子に止まらず、衣服、カバー、特殊コーティングやエンターテインメント分野においても有用な材料となる。

【0101】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0102】まず、この発明の第1の実施形態による光機能素子について説明する。

【0103】周期構造体の周期は、変調制御しようとする

る電磁波のような横波や音波のような縦波の波長によることは前述した。ここでは、横波電磁波の一波長域である可視光の波長域に対する1次元周期構造体を例に説明する。この説明は、2次元周期構造体および3次元周期構造体に拡張することができることは、言うまでもない。

【0104】まず、図3に示すように、二種類の物質が交互に周期的に積層された多層膜からなる1次元周期構造体を考える。ここでは、一方の物質を SiO_2 （可視域全域で屈折率 $= 1.46$ と近似する）、他方の物質を TiO_2 （可視域全域で屈折率 $= 2.30$ と近似する）と仮定する。これらの SiO_2 および TiO_2 をそれぞれ符号1、2で示す。

【0105】これらの二種類の物質は、可視域では概ね透明であることは周知の事実であるが、これらの物質が特定の厚さで積層されるとある波長領域で透明でなくなる場合があることをまず示す。今、想定する参照波長を可視域の 550nm と仮に決めておく。そして次に、 $1/4$ 波長の厚さに二種類の物質を積層することを考える。ここで、物質 J の厚さを $d(J)$ 、屈折率を $n(J)$ としたとき、以下の関係を満たすものとする。

【0106】 $n(J)d(J) = 550 \div 4$

$n(\text{SiO}_2) = 1.46$ 、 $n(\text{TiO}_2) = 2.30$ であるから、この式より、 $d(\text{SiO}_2) = 94.2\text{nm}$ 、 $d(\text{TiO}_2) = 59.8\text{nm}$ となる。すなわち、 SiO_2 膜および TiO_2 膜の厚さをそれぞれ 94.2nm および 59.8nm とし、 $(\text{SiO}_2/\text{TiO}_2)$ 1周期単位を20回繰り返した多層膜からなる1次元周期構造体を考え、その光透過特性をコンピュータ・シミュレーションで求めた。その結果を図4に示す。図4より、見事に、可視域の 480nm から 650nm の範囲の波長の光を通さないことがわかる。これを1次元の場合のフォトリック・バンドギャップ、あるいはストップバンドと呼ぶ。今日このような設計から干渉フィルターやバンドパスフィルターが設計されていることは良く知られたことである。

【0107】さて次に、上述の1次元周期構造体にその周期性を乱す「異物（＝不純物）」を挿入することを考える。例えば、図5に示すように、 $(\text{SiO}_2/\text{TiO}_2)$ 10周期分を積層した後、 SiO_2 および TiO_2 と異なる物質 M ($n(M) = 1.95$ と仮定) をある厚さ $d(M)$ で積層し、その後 $(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2)$ 10周期分を積層した多層膜を考える。物質 M を符号3で示す。そして、この多層膜の光透過特性をコンピュータ・シミュレーションで求めた。その結果を図6に示す。 $n(M) = 1.95$ の物質 M としては例えば ZrO_2 がある。また、 $d(M) = 28.2\text{nm}$ とした（後述の換算膜厚 $W = 0.1$ に相当する）。図6より、興味深いことに、可視域の透過しない領域にスパイク的に透過ピークが生じていることが認められる。これが半導体物理で

いうところのキャリア注入であり、バンドギャップ内に不純物準位を形成するのと同様の効果である。フォトリック・バンド理論での不純物効果である。

【0108】次に、上述の「異物」に動きを持たせたらどうなるかについて説明する。圧電性物質等は外部電界によって厚さが変化することは今日周知の事実であり、例えばこういったものをこの異物として使用することができる。今、異物である物質Mの厚さを換算膜厚表示Wで、0.02から0.24まで0.02ずつ変化させた場合の全透過スペクトルを計算で求めた結果を図7および図8に示す。ここに換算膜厚Wは以下の計算式により求める。ただし、 $n(M) = 1.95$ とする。

$$【0109】 W = n(M) d(M) / 550$$

この物質Mの厚さの増加に伴う、フォトリック・ギャップ中に現われる透過光ピークのシフトの様子を換算膜厚Wを0.8まで拡張してグラフ化したものが、図9である。図9より、 $W = 0.02$ から0.24までの範囲では、異物のM層の厚さが1nm増加すると、透過光ピークの位置が長波長側へ約1.4nmシフトすることがわかる。このようにフォトリック・ギャップ中に現われる透過光ピークは、異物のM層の厚さの増加に伴って、短波長側から長波長側へ大きくシフトして行くことが今回初めて確認された。この透過光ピークのことをここでは、モバイル・ピーク(MP)と呼ぶことにする。ストップバンドの端に行くと、今度は短波長側から再度MPが出現し、またこれがシフトして行くことが如実にわかる。

【0110】このように、MPを異物層の厚さで制御することができる。そこで、この第1の実施形態においては、異物層の厚さを電界で制御することによりMPを制御する場合について説明する。図10に、この第1の実施形態による光機能素子を示す。

【0111】図10に示すように、この光機能素子は、図5に示すM層の位置に、PZT層を透明電極としてのITO層($In_2O_3-SnO_4$ 透明導電性薄膜)を介して挿入した構造を有する。PZT層を符号4で、このPZT層4の両側のITO層を符号5、6で示す。

【0112】このように構成された光機能素子においては、ITO層5、6間に電圧を印加してその厚さ方向に電界を印加することによりPZT層4の厚さを変化させることができ、これによってすでに述べた原理によりMPを制御することができる。

【0113】この第1の実施形態によれば、外部からの信号により、すなわちITO層5、6間に電圧を印加することにより、透過波長を選択することができ、これによって電圧で波長選択が可能な波長選択素子を実現することができる。

【0114】次に、この発明の第2の実施形態による光機能素子について説明する。

【0115】第1の実施形態においては、1次元周期構

造体に導入された「異物」であるM層の厚さを変化させた場合について説明したが、この第2の実施形態においては、まず、異物層の厚さを一定として、その誘電率、すなわち屈折率を変化させた場合について説明する。

【0116】まず、異物層の厚さを55nmとし、その屈折率を1から5まで変化させた場合のMPのシフトの様子を計算で求めた結果を図11に示す。図11より、やはりストップバンド内に、スパイク状のMPが出現して、それが屈折率nの増加に伴って長波長側へシフトして行くことが明確にわかる。次に、異物層の厚さを220nmと増加させて一定とした場合、その屈折率を1から5まで変化させたときのMPのシフトの様子を計算で求めた結果を図12に示す。図12より、ここでも、ストップバンド内にスパイク状のMPが出現して、それが屈折率nの増加に伴って長波長側へ急激なシフトをして行き、それが何回か繰り返される様子が見てとれる。

【0117】以上のように、このMPのシフト挙動は、「異物層の厚さ」だけでなく、「異物層の屈折率または誘電率」にも依存することが決定付けられたことになる。なお、屈折率nと誘電率 ϵ との間には、 $\epsilon = n^2$ なる関係が知られている。図13に示すように、外部からの電界強度を調整することにより、非線形媒質では確実に異なる誘電率を誘起させられる訳であり、これが屈折率変化として光学特性への変化と繋げられる訳である。

【0118】図14にこの発明の第2の実施形態による光機能素子を示す。

【0119】図14に示すように、この第2の実施形態による光機能素子は、図5に示すM層の位置に、PLZT層を透明電極としてのITO層を介して挿入した構造を有する。PLZT層を符号7で示す。

【0120】このように構成された光機能素子においては、ITO層5、6間に電圧を印加して電圧を印加することによりその厚さ方向に電界を印加することによりPLZT層7の屈折率を変化させることができ、これによってすでに述べた原理によりMPを制御することができる。

【0121】この第2の実施形態によれば、第1の実施形態と同様に、電圧で波長選択が可能な波長選択素子を実現することができる。

【0122】次に、この発明の第3の実施形態による人工調光皮膚について説明する。この人工調光皮膚は第1および第2の実施形態の基本原理を応用したものである。

【0123】図15に示すように、この人工調光皮膚においては、人工皮膚の基板11上に第2の実施形態と同様な、1次元周期構造体である周期性多層膜12に異物薄膜13が導入された1次元フォトリック周期構造体基板11上に形成されている。周期性多層膜12と異物薄膜13との界面には導電性電極膜14、15が形成されている。ここで、異物薄膜13としては運動機能性

材料、あるいは外部電界でその誘電率ないし屈折率が変化し得る物質を用いる。この1次元フォトンクス周期性構造体に隣接して、PZT等で代表される圧電性薄膜16を導電性電極膜17、18ではさんだ圧電素子が形成されている。この圧電素子の導電性電極膜17、18は、それぞれ配線19、20により、1次元フォトンクス周期性構造体の導電性電極膜14、15と接続されている。これらの基板11、1次元フォトンクス周期性構造体および圧電素子の全体により人工調光皮膚が構成されている。

【0124】このように構成された人工調光皮膚においては、外部から人工皮膚が触られたり、たたかれたりすると、圧電素子部で、圧電効果により導電性電極膜17、18間に大きな電位差が生じ、それにより、1次元フォトンクス周期性構造体の導電性電極膜14、15間、したがって異物薄膜13にその厚さ方向に電圧が印加される。その結果、異物薄膜13は運動機能を発現するか、あるいは、屈折率変化を生じて、1次元フォトンクス周期性構造体の透過・反射スペクトルに大きな変化を生じさせることになる。これによって、人工皮膚の色が変化(例えば、青・緑色から赤色へ)することとなる。

【0125】以上のように、この第3の実施形態によれば、外部からの接触により色が変化する人工調光皮膚を実現することができる。

【0126】次に、この発明の第4の実施形態による人工調光皮膚について説明する。図16にこの人工調光皮膚を示す。

【0127】図16に示すように、この人工調光皮膚においては、異物薄膜13の両端面に導電性電極膜14、15が形成され、これらの導電性電極膜14、15と圧電素子の導電性電極膜17、18とが、それぞれ配線19、20を介して接続されている。その他の構成は、第3の実施形態と同様である。

【0128】このように構成された人工調光皮膚の原理は第3の実施形態による人工調光皮膚と同様である。

【0129】この第4の実施形態によっても、外部からの接触により色が変化する人工調光皮膚を実現することができる。

【0130】次に、この発明の第5の実施形態による人工調光皮膚について説明する。図17にこの人工調光皮膚を示す。

【0131】図17に示すように、この人工調光皮膚においては、圧電素子上に1次元フォトンクス周期性構造体が形成されている。その他の構成は、第3の実施形態と同様である。

【0132】このように構成された人工調光皮膚の原理は第3の実施形態による人工調光皮膚と同様である。

【0133】この第5の実施形態によっても、外部からの接触により色が変化する人工調光皮膚を実現すること

ができる。

【0134】次に、この発明の第6の実施形態による人工調光皮膚について説明する。図18にこの人工調光皮膚を示す。

【0135】図18に示すように、この人工調光皮膚においては、圧電素子上に1次元フォトンクス周期性構造体が形成されている。その他の構成は、第4の実施形態と同様である。

【0136】このように構成された人工調光皮膚の原理は第3の実施形態による人工調光皮膚と同様である。

【0137】この第6の実施形態によっても、外部からの接触により色が変化する人工調光皮膚を実現することができる。

【0138】次に、この発明の第7の実施形態による人工調光皮膚について説明する。図19にこの人工調光皮膚を示す。

【0139】図19に示すように、この人工調光皮膚においては、人工皮膚の基板31上に第2の実施形態と同様な、1次元周期性構造体である周期性多層膜32に異物薄膜として透明なゴム状薄膜33が導入された1次元フォトンクス周期性構造体が基板31に平行に形成されている。この1次元フォトンクス周期性構造体は例えば基盤の目状に区画化されており、各区画の間には隙間が設けられている。各区画の大きさは例えば人間の手の指先と同程度とする。透明なゴム状薄膜33の材料としては、例えばシリコンゴムなどを用いることができる。

【0140】このように構成された人工調光皮膚においては、図20に示すように、外部から例えば指34で人工皮膚が触られたり、たたかれたりすると、それによりその区画の1次元フォトンクス周期性構造体に生ずる応力が塑性変形を引き起こし、異物であるゴム状薄膜32の厚さを大きく変える。その結果、人工皮膚の色を変えることができることになる。

【0141】この第7の実施形態によれば、電気を一切使用しない人工調光皮膚を実現することができ、また、構造をより単純化することができることにより製造コストも安価である。

【0142】次に、この発明の第8の実施形態による光機能素子について説明する。

【0143】第1～第7の実施形態においては、1次元の周期性構造材料についての原理及びその応用の例を記述してきたが、この第8の実施形態においては、2次元の場合について説明する。2次元面での周期性構造の作製手法は実に種々の方法がある。半導体産業で培われたリソグラフィ技術は勿論、球体を整列させるやり方等が考えられるが、ここではプリンタヘッドを用いた作製手法を説明する。通常使用されているプリンタヘッド(例えば、圧電機構による液溜めからの噴出方式)の液溜めの中に、噴出後固体化する液状物質を予め入れておき、それを実際に印字させると、今日の技術では、1000

DPI、すなわち25 μ m周期のドット形成が可能である。インクジェット方式で基板上にドットを形成して形成された二次元周期構造体としてのドット形成膜のイメージ図を図21に示す。

【0144】図21に示すように、この光機能素子は、X方向およびY方向にそれぞれ所定の周期で形成されたドット42からなる二次元周期構造体のX方向の周期構造の途中に、ドット42と異なる物質からなるドット43がY方向に一列に配列して挿入された構造を有する。この一列のドットは周期構造を構成するドットをインクジェット方式で形成する途中でインクとして使用する物質を変えることにより形成することができる。

【0145】この第8の実施形態によれば、赤外域の波長の光に対しては、X方向からの入射とY方向からの入射とでは反射波長も異なるなどの効果を期待することができる。さらに、ドット43、44間の周期を細かくすることにより、周期を可視域の波長と同程度の寸法まで到達させることが可能であれば、目で見ただけの色調を自由に形成させることが可能である。すなわち、液溜めに用意する液の種類を予め選択/設計しておけばいい訳であり、ほとんど無限のバリエーションが考えられる。例えば、金属コロイドを入れておいて、特殊な光沢が生ずるようなコーティングあるいは人工皮膚等を得ることも可能である。

【0146】次に、この発明の第9の実施形態について説明する。

【0147】第1～第8の実施形態においては、「異物」には機能性を与えていない状況での機能発現と、その作製法について説明した。この第9の実施形態においては、2次元面に垂直方向に成長させたワイヤー構造とその構造体への機能性賦与の例について説明する。

【0148】この第9の実施形態においては、図22Aに示すように、まず、単結晶シリコン(Si)基板51を用意する。次に、図22Bに示すように、この単結晶Si基板51上に、微細な穴が形成されたマスク(図示せず)を用いて、例えば金(Au)を蒸着することにより、円形状のAu膜52を二次元アレイ状に周期的に形成する。次に、Auのいわゆるサーフェクタント効果を利用し、Siを成長させる。すなわち、図22Cに示すように、サーフェクタント効果によりAu膜52の下側にSiが入り込むため、Au膜52の下に円柱状にSi柱53が形成される。次に、Au膜52を除去した後、図22Dに示すように、Si柱53上に酸化セリウム(CeO₂)層54をバッファ層として成長させ、さらにその上にチタン酸ジルコニウム酸ランタン鉛(PLZT)層55を成長させる。このようにして、二次元周期構造体が形成される。

【0149】この第9の実施形態においては、PLZTは光アクチュエータとしても知られており、光照射により光起電力効果による端面電位差が生じ、同時に電歪効

果による歪が生じるというメカニズムを利用する。したがって、図23に示すように、外部からレーザー光を制御光として特定部位のPLZT層55に照射することにより、その形状を変形させることが可能であり、これによって信号光を制御することができることになる。

【0150】次に、この発明の第10の実施形態について説明する。

【0151】この第10の実施形態においては、図24Aに示すように、まず、単結晶Si基板61を用意する。次に、図24Bに示すように、この単結晶Si基板61上に、微細な穴が形成されたマスク(図示せず)を用いて、例えばAuを蒸着することにより、円形状のAu膜62を二次元アレイ状に周期的に形成する。次に、Auのサーフェクタント効果を利用し、Siを成長させる。すなわち、図24Cに示すように、サーフェクタント効果によりAu膜62の下側にSiが入り込むため、Au膜62の下に円柱状のSi柱63が形成される。次に、Au膜62を除去した後、図24Dに示すように、Si柱63上にCeO₂層64をバッファ層として成長させる。ここまでのプロセスは、第9の実施形態と同様である。次に、このCeO₂層64上にSrRuO₃層65、PLZT層66およびSrRuO₃層67を順次成長させる。このようにして、二次元周期構造体が形成される。ここで、SrRuO₃層65およびSrRuO₃層67はそれぞれ下層電極および上層電極として用いられる。

【0152】この第10の実施形態においては、PLZTの電歪効果による歪が生じるというメカニズムを利用する。したがって、図25に示すように、特定部位のPLZT層66にSrRuO₃層65およびSrRuO₃層67により電圧を印加することにより、その形状を変形させることが可能であり、これによって信号光を制御することができることになる。

【0153】次に、この発明の第11の実施形態による機能素子について説明する。

【0154】この第11の実施形態においては、図23に示すように、基板71上にワイヤ状突起72がX方向及びY方向にそれぞれの所定の周期で形成されて二次元周期構造体が形成されたものが二つ、それらの二次元周期構造体同士が互いに対向するように配置されている。これらの二次元周期構造体は、例えば、第8、第9または第10の実施形態による二次元周期構造体と同様なものであってよい。これらの二次元周期構造体は、図示省略した駆動機構により、上下方向(Z方向)および面内方向(X方向およびY方向)に可動に構成されている。

【0155】この第11の実施形態においては、一方の二次元周期構造体をXY面内において移動させてその周期構造が他方の二次元周期構造体のX方向またはY方向の周期構造の周期を2等分する位置でXY面内の移動を停止し、その後Z方向に移動させて二つの二次元周期構

造体の周期構造同士が互いに食い込んだ状態になった時点でZ方向の移動を停止する。このようにすることにより、X方向またはY方向の周期性を2分の1に変調することができるとともに、Z方向の微調整により食い込みの深さを制御することにより、電磁波/音波との干渉の程度を変化させることができる。さらに、第8、第9および第10の実施形態と同様な効果を得ることもできる。

【0156】次に、この発明の第12の実施形態による二次元周期構造体について説明する。図27はこの二次元周期構造体を示す。今度は、やはり2次元面での周期構造に変調をかけた別の方式を紹介する。

【0157】この第12の実施形態においては、図27に示すように、例えばSi基板のような基板81の一方の主面上に、PZT膜などの圧電性薄膜82を下部電極83及び上部電極84ではさんだ構造の圧電素子がX方向及びY方向にそれぞれ所定の周期で周期的に形成されている。これらの圧電素子の下部電極83および上部電極84間には互いに独立に駆動電圧を印加することができるように、所定の配線（図示せず）が形成されている。また、基板81には、各圧電素子のY方向の所定長さの部分と重なるようにリソグラフィーなどの技術でエッチングなどで形成された例えば四角形の穴85が形成されている。この変調方式には、電極と配線の多種多様な組み合わせが可能であることは言うまでもない。制御の仕方が予め決まっていれば、それに合った電極や配線を設計してやればよい。なお、全ての圧電素子に電極が設けられている必要は必ずしもない。

【0158】この第12の実施形態においては、特定部位の圧電素子の下部電極83および上部電極84間に電圧を印加して圧電性薄膜82に電界を印加すると、電歪効果により穴86の上部の圧電性薄膜82が上または下側に反り返ることにより、その部分でY方向の周期性の乱れが生じる。これによって、MPを制御することができる。

【0159】次に、この発明の第13の実施形態による音波機能素子について説明する。図28にこの音波機能素子を示す。

【0160】この第13の実施形態においては、図26に示すように、基板81上のX方向に複数のペルチェ素子が直列接続されて所定の周期で周期的に配置され、このX方向のペルチェ素子列が複数、Y方向に所定の周期で周期的に配置されて、これによって二次元周期構造が形成されている。各ペルチェ素子は、n型半導体層82、p型半導体層83および金属フィン84により構成されている。X方向のペルチェ素子列の両端間には直流電流を流すことができるようになっている。

【0161】この第13の実施形態においては、図26中矢印方向に直流電流を流すと、この直流電流の流れる方向で見たときのn型半導体層82からp型半導体層8

3を結ぶ金属フィン84は低温接合部（吸熱部）となり、一方、p型半導体層83からn型半導体層82を結ぶ金属フィン84は高温接合部（発熱部）となる。これによって、低温接合部の金属フィン84の近傍の空気の密度は増大し、高温接合部の金属フィン84の近傍の空気の密度は減少するため、X方向にペルチェ素子の配列ピッチと同じ周期で空気の密度の疎密の周期的変化が生じることになる。この状態でX方向から超音波を入射させることにより、フォトリックバンドと類似の効果を得ることができる。

【0162】この音波機能素子は、ペルチェ素子におけるP型半導体層83およびn型半導体層82の配置を自由に変えることができるので、いろんな周期に対応可能であることは言うまでもない。

【0163】この第13の実施形態によれば、ペルチェ素子を利用して、フォトリック結晶と同様な機能を有する音波機能素子を実現することができる。

【0164】次に、この発明の第14の実施形態による音波機能素子について説明する。図29にこの音波機能素子を示す。

【0165】この第14の実施形態においては、図29に示すように、二枚の基板91、92の間に簾状に例えば寒天のようなゲルからなる糸93がX方向及びY方向にそれぞれ所定の周期で周期的に張り巡らされて二次元周期構造体が形成されている。この周期は超音波が感じられるように選ばれる。

【0166】この第14の実施形態においては、二次元周期構造体に入射する超音波に対して、フォトリック結晶と同様な機能を有する音波機能素子を実現することができる。また、二次元周期構造体を構成する糸93に、外部から振動を送って超音波を変調することもできる。

【0167】次に、この発明の第15の実施形態について説明する。この第15の実施形態から第20の実施形態においては、インターカレーション物質や、複合材料を使用した場合について説明する。

【0168】まず、インターカレーション物質の作製法について説明しておく。例として、 KTiNbO_5 セラミックスへ有機アミンをその炭素数で16までインターカレーションさせた作製手順について簡単に説明する。

【0169】まず、市販の原料粉： K_2CO_3 、 TiO_2 、 Nb_2O_5 をそれぞれ1:1:1のモル比で採取し、十分混合後、900℃で24時間仮焼し、これを粉砕する。この工程を計3回繰り返して、 KTiNbO_5 の単相試料を得た。

【0170】次に2Nの塩酸で60℃で1時間イオン交換処理を施し、ほぼ完全に HTiNbO_5 粉末を作製した。

【0171】次の工程以降が有機直鎖アミンのインターカレーションであるが、その炭素数によって、溶媒などが異なるので、以下に箇条書にして記す。

【0172】(1)炭素数: $C=1\sim5$ の場合
溶媒は純水を用い、1Mアミン溶液に対して、 $HTiNbO_5$ が 0.05mol/l となるように採取し、室温にて2時間攪拌、その後3日間乾燥のために放置した。

【0173】(2)炭素数: $C=8, 10$ の場合
溶媒は純水とエタノールの50:50(体積比)の混合液を用い、その1Mアミン溶液に対して、 $HTiNbO_5$ が 0.05mol/l となるように採取し、室温にて2時間攪拌、その後3日間乾燥のために放置した。

【0174】(3)炭素数: $C=12, 16$ の場合:
溶媒は純水とエタノールの50:50(体積比)の混合液を用い、その1Mアミン溶液に対して、 $HTiNbO_5$ が 0.05mol/l となるように採取し、室温にて2時間攪拌、直ちに遠心分離器を用いて10分間、沈殿の促進を計り、上澄み液を捨てて、室温でその後2日間乾燥のために放置した。このようにして、 $KTiNbO_5$ から $HTiNbO_5$ 、さらに有機アミンがインターカレートした RNH_3TiNbO_5 の3種が合成できる。

【0175】いずれの粒子も $1\mu\text{m}$ 弱の大きさであり、特に有機アミンをインターカレートしたものは、より薄片状となっていることがわかる。次に、上記実験における、炭素数増加に伴うC軸格子定数の変化の様子を図30に示す。図30に示すように、 1.7nm から最大 8.2nm 程まで4倍以上、C軸格子定数が伸長していることが判明した。

【0176】この結果から、C軸格子定数 C_0 と炭素数 n の関形式はきれいな線形近似が可能で、
 $C_0 = 1.847 + 0.40741n$
となることがわかる。

【0177】このようにして得られた有機アミンインターカレーション材料を用いた、第15の実施形態による光機能素子を以下に記述する。図31にこの光機能素子を示す。

【0178】図31に示すように、この第15の実施形態による光機能素子は、第1の実施形態と同様な、
[$(SiO_2)_n / (TiO_2)_m$] 1次元周期構造体

中のM層の位置に、無機または有機インターカレーション物質として RNH_3TiNbO_5 層8を透明電極としてのITO層5、6を介して挿入した構造を有する。

【0179】この第15の実施形態においては、ITO層5、6間に電圧を印加することにより RNH_3TiNbO_5 層8の厚さ方向に電界を印加すると、その分子が持っている双極子モーメントと外部電界の関係から分子鎖が電界方向に約平行に並ぼうとし、結果的にインターカレーション物質のC軸格子定数を増加させる。この結果、特定の光を透過しない波長領域の中に一部だけ透過する波長、すなわちMPを設けることができる。

【0180】この第15の実施形態によれば、電圧制御により光の波長選択変調が可能である波長選択素子を実現することができる。

【0181】次に、この発明の第16の実施形態による光機能素子について説明する。図32にこの光機能素子を示す。

【0182】図32に示すように、この光機能素子は、図5に示すM層の位置に、インターカレーション物質である RNH_3TiNbO_5 層8を挿入した構造を有する。

【0183】実際の使用時には、この光機能素子はアミン液中に入れられる。このアミン液中では、 RNH_3TiNbO_5 層8のC軸格子定数が増加することにより、この RNH_3TiNbO_5 層8の厚さが増す。ここで、この厚さの増加量は、アミン液の炭素数により変化するので、アミン液の炭素数を変えることにより、 RNH_3TiNbO_5 層8の厚さを所望の厚さに制御することができる。 RNH_3TiNbO_5 層8を元の状態に戻すには、光機能素子を塩酸で洗浄すればよい。

【0184】この第16の実施形態によっても、アミン液により透過波長の選択が可能な光機能素子を実現することができる。

【0185】次に、この発明の第16の実施形態による光機能素子について説明する。図33にこの光機能素子を示す。

【0186】この第16の実施形態においては、図33に示すように、微小な球101内に例えば二硫化炭素のような強い電界で分子配列を起こす、いわゆるカー効果材料を入れたものが3次元的に周期的に配列されて3次元周期構造体が形成されている。この球101はセラミックスでも、有機物でできたマイクロカプセルのような形態のものでも構わない。これらの球101からなる3次元周期構造体の両端に透明電極102、103が配置されている。これらの透明電極102、103としては、ITOや光が透過するほど薄い金属膜などを用いることができる。

【0187】この第16の実施形態においては、透明電極102、103間に電圧を印加することにより、3次元周期構造体に一定の弱い電界を印加し、球101内の分子鎖を入射光軸に平行に並べておく。この状態では入射光の偏光状態は一切変わらない。ただし、球101による屈折には異方性がないと仮定する。

【0188】次に、外部から別の電界強度の強い制御光を入射させると、その偏光方位が光軸と垂直な方向であれば、照射領域の球101内の二硫化炭素鎖はその偏光方向に平行に配列するため、結果として予め入射していた光に対する屈折率に変化が生じる。これは、周期性がこの制御光の照射によって乱されたことに相当する。これによって、信号光のストップバンド中に現われるMPの波長シフトを外部制御光の電界強度で制御することができる。

【0189】この第16の実施形態によれば、制御光で透過波長の選択が可能な波長選択素子を実現することが

できる。

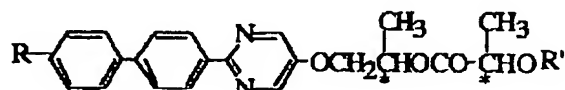
【0190】次に、この発明の第17の実施形態による機能素子について説明する。

【0191】この第17の実施形態においては、第16の実施形態における球101の中に入れる物質として、光の偏光電界によって配向し得る液晶を封入を用いる。このような液晶材料としては、例えば下記のようなものを用いることができる。

【0192】(1) カイラル系液晶

【0193】

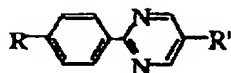
【数1】



【0194】(2) フェニルピリミジン系液晶

【0195】

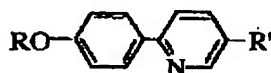
【数2】



【0196】(3) フェニルピリジン系液晶

【0197】

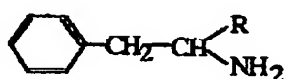
【数3】



【0198】(4) アミン系液晶

【0199】

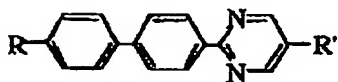
【数4】



【0200】(5) ビフェニルピリミジン系液晶

【0201】

【数5】



【0202】この第17の実施形態の上記以外のことは、第16の実施形態と同様であるので、説明を省略する。

【0203】この第17の実施形態によっても、第16の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0204】次に、この発明の第18の実施形態による光機能素子について説明する。この光機能素子は、運動機能付きフォトニック結晶による発光制御に関するものである。

【0205】今、図34Aに示すようなスペクトル分布

を持つ光を、図34Bに示すような例えば希土類元素が発光材料として入れられたアルミナやシリカなどからなる発光体111に照射して励起すると、図34Cに示すような発光スペクトルが得られる。

【0206】次に、図35Aに示すようなスペクトル分布を持つ光を、図35Bに示すような例えばZnSなどの青色ないし緑色発光材料からなる発光体112が三次元的に配列された3次元周期構造体に照射すると、図35Cに示すような発光スペクトルが得られ、ストップバンドが形成される。これは通常のフォトニック結晶である。

【0207】さて、この第18の実施形態においては、このようなフォトニック結晶に運動機能を与えることを考える。すなわち、図36Aに示すようなスペクトル分布を持つ光を、図35Bに示すような例えばZnSなどの青色ないし緑色発光材料からなる発光体113を一部に含む、PLZT等の光歪効果材料からなる微小球114で構成された3次元周期構造体に照射するが、このとき、外部からの制御光により3次元周期構造体を構成する微小球114に歪みが発生することによりその大きさが拡大する。これは、図23に示す例と類似している。これによって、入射光により励起された発光体113からの発光が外部に生じるようになって図36Cに示すような発光スペクトルが得られ、信号光のストップバンド中にMPが現れるようにすることができる。このMPの波長シフトは外部制御光の電界強度で制御することができる。

【0208】この第18の実施形態によれば、外部制御により透過波長の選択が可能な波長選択素子を実現することができる。

【0209】次に、この発明の第19の実施形態による光機能素子について説明する。

【0210】この第19の実施形態においては、図37に示すように、容器121内に微小球122からなる3次元周期構造体を入れ、その空隙に液体の電界配向性有機材料123を満たしたものに、外部から特定部位に制御光を入射させ、その電界ベクトルの方向に有機分子鎖を配向させることにより、電界配向性有機材料123の屈折率を局所的に変化させる。ここで、3次元周期構造体には発光体124が導入されている。このようにすることにより、第18の実施形態と同様に、信号光のストップバンド中にMPが現れるようにすることができる。

【0211】以上、この発明の実施形態について説明したが、この発明は、上述の実施形態に限定されるものではなく、この発明の技術的思想に基づく各種の変形が可能である。

【0212】すなわち、上述の実施形態において挙げた数値、構造、形状、材料、成長方法、プロセスなどはあくまでも例に過ぎず、必要に応じてこれらと異なる数値、構造、形状、材料、成長方法、プロセスなどを用い

ることも可能である。

【0213】また、人工調光皮膚における周期構造体と圧電素子との配置の仕方や配線方法などは、必要に応じて、第3～第6実施形態と異なる配置の仕方や配線方法を用いてもよい。

【0214】また、第1、第2実施形態などにおいては、 SiO_2 と TiO_2 とを交互に積層することにより1次元周期構造体を形成しているが、必要に応じて、これらの材料の代わりに、例えば、 CeO_2 、 ZrO_2 、 MgF_2 、 CaF_2 、 SnO_2 、 ZnO 、 In_2O_3 などを用いてもよい。

【0215】また、異物層であるM層は、必要に応じて、1次元周期構造体の複数箇所に挿入してもよい。

【0216】

【発明の効果】以上説明したように、この発明による機能性材料および機能素子によれば、外部からの信号により、光等の電磁波の透過波長を変化させたり、入射電磁波を属性の異なる電磁波に変換したりすることができる。

【0217】また、外部からの信号により、超音波等の音波の透過波長を変化させたり、入射音波を属性の異なる音波に変換したりすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】各種の運動機能材料の特性を比較した略線図である。

【図2】波長を中心に比較した電磁波と音波の相違を示す略線図である。

【図3】この発明の第1の実施形態を説明するための略線図である。

【図4】図3に示す $[\text{SiO}_2/\text{TiO}_2]_{10}-\text{M}$ 層の1次元周期構造体の光透過スペクトルを示す略線図である。

【図5】この発明の第1の実施形態において用いる $[\text{SiO}_2/\text{TiO}_2]_{10}-\text{M}-[\text{TiO}_2/\text{SiO}_2]_{10}$ の1次元周期構造体を説明するための略線図である。

【図6】図5に示す $[\text{SiO}_2/\text{TiO}_2]_{10}-\text{M}-[\text{TiO}_2/\text{SiO}_2]_{10}$ の1次元周期構造体の光透過スペクトルを示す略線図である。

【図7】図5に示す $[\text{SiO}_2/\text{TiO}_2]_{10}-\text{M}-[\text{TiO}_2/\text{SiO}_2]_{10}$ の中間に挿入した異物層の厚さを換算膜厚で0.02から0.24まで0.02ずつ変化させたときの全透過スペクトルを示す略線図である。

【図8】図5に示す $[\text{SiO}_2/\text{TiO}_2]_{10}-\text{M}-[\text{TiO}_2/\text{SiO}_2]_{10}$ の中間に挿入した異物層の厚さを換算膜厚で0.02から0.24まで0.02ずつ変化させたときの全透過スペクトルを示す略線図である。

【図9】図5に示す $[\text{SiO}_2/\text{TiO}_2]_{10}-\text{M}-[\text{TiO}_2/\text{SiO}_2]_{10}$ の異物層の厚さを变化させた

ときの換算膜厚を変化させたMPの波長シフトの挙動を示す略線図である。

【図10】この発明の第1の実施形態による光機能素子を示す略線図である。

【図11】図5に示す $[\text{SiO}_2/\text{TiO}_2]_{10}-\text{M}-[\text{TiO}_2/\text{SiO}_2]_{10}$ の中間に挿入した異物層の厚さを換算膜厚で55nmとして屈折率を変化させた場合のMPの波長シフトの挙動を示す略線図である。

【図12】図5に示す $[\text{SiO}_2/\text{TiO}_2]_{10}-\text{M}-[\text{TiO}_2/\text{SiO}_2]_{10}$ の中間に挿入した異物層の厚さを換算膜厚で220nmとして屈折率を変化させた場合のMPの波長シフトの挙動を示す略線図である。

【図13】非線形媒質における電界強度と分極との関係および屈折率と誘電率との関係を示す略線図である。

【図14】この発明の第2の実施形態による光機能素子を示す略線図である。

【図15】この発明の第3の実施形態による人工調光皮膚を示す略線図である。

【図16】この発明の第4の実施形態による人工調光皮膚を示す略線図である。

【図17】この発明の第5の実施形態による人工調光皮膚を示す略線図である。

【図18】この発明の第6の実施形態による人工調光皮膚を示す略線図である。

【図19】この発明の第7の実施形態による人工調光皮膚を示す略線図である。

【図20】この発明の第7の実施形態による人工調光皮膚の動作を説明するための略線図である。

【図21】この発明の第8の実施形態による機能素子を示す斜視図である。

【図22】この発明の第9の実施形態による光機能素子を説明するための断面図である。

【図23】この発明の第9の実施形態による光機能素子の動作を説明するための略線図である。

【図24】この発明の第10の実施形態による光機能素子を説明するための略線図である。

【図25】この発明の第10の実施形態による光機能素子の動作を説明するための略線図である。

【図26】この発明の第11の実施形態による光機能素子を示す略線図である。

【図27】この発明の第12の実施形態による光機能素子を示す略線図である。

【図28】この発明の第13の実施形態による音波機能素子を示す略線図である。

【図29】この発明の第14の実施形態による音波機能素子を示す略線図である。

【図30】 $[\text{TiNbO}_5]$ 無機骨格に挿入した有機直鎖アミンの炭素数と格子定数の相関を示す略線図である。

【図31】この発明の第15の実施形態による光機能素

子を示す略線図である。

【図32】この発明の第16の実施形態による光機能素子を示す略線図である。

【図33】この発明の第17の実施形態による光機能素子を示す略線図である。

【図34】この発明の第18の実施形態による光機能素子を説明するための略線図である。

【図35】この発明の第18の実施形態による光機能素子を説明するための略線図である。

【図36】この発明の第18の実施形態による光機能素子を説明するための略線図である。

【図37】この発明の第19の実施形態による光機能素子を説明するための略線図である。

【符号の説明】

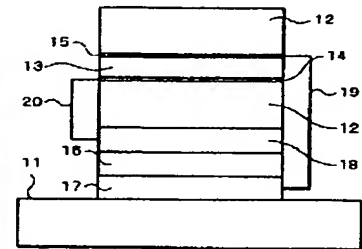
1・・・ SiO_2 、2・・・ TiO_2 、3・・・異物層、4・・・PZT層、5、6・・・ITO層、7・・・PLZT層

【図1】

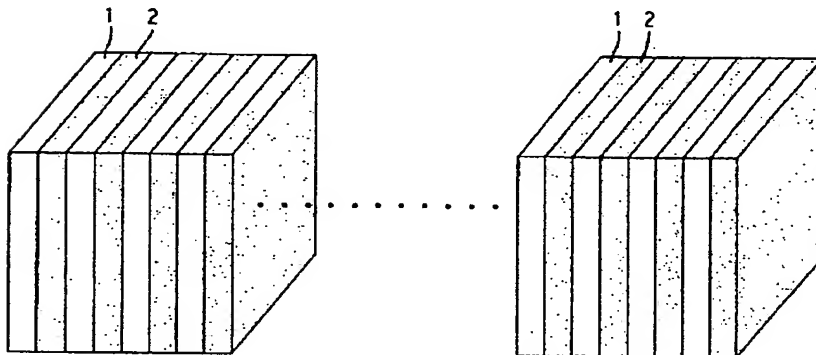
| 運動機能材料の特性比較 | | | | | | |
|-------------|---|-----------------------|---------------------------|----------------------|--|--------------------|
| | 高分子ゲル Ionic polymer-metal composites ^[1] | 形状記憶合金 ^[2] | 圧電セラミックス素子 ^[3] | ゴム人工筋 ^[4] | インターカレーション物質 ^[5] | 生体筋 ^[6] |
| 変位 | 20-30% | 8% | 0.1% | 20% | [Andros-TiNbO ₃] 数倍 by 反応 30% by 電界 | 50% |
| 力 (MPa) | 10-30 | — | 588 | 300 | | 0.5-1 |
| 応答速度 | >0.2sec | sec to min | μsec | | | 0.03-0.2sec |
| 駆動方法 | 電圧印可 (4-7 V) | 溶液変化 | 温度変化 | 電圧印可 (60-800V) | 空気圧変化 | 溶液蒸化 (電圧印可) |
| 出力/重量比 | — | 0.1W/g | 0.1W/g | | | 0.1-0.3W/g |
| 研究機関 | New Mexico大 機械技研 | 長岡技科大 | | ブリヂストン | | |

[1] "Ionic Polymer-Metal Composites (IPMC) As Biomimetic Sensors, Actuators and Artificial Muscles—A Review" M. Shahzad et al. (University of New-Mexico) <http://www.unm.edu/~sm/Upaper.html>
 [2] "ORGANIC INTERCALATION ON LAYERED COMPOUND KTiNbO₅" S.KIKUKAWA and M.KOIZUMI (Osaka Univ.) Physica 105B (1981) 234
 [3] "人工筋肉" 鈴木誠 (機械工学研究所) 応用物理 60 (1991) 258
 [4] "アクチュエーター" 堀江孝典 電気化学 47 (1999) 100
 [5] "人工筋肉" 三宅仁雄、亀田ブックサービス (1998)

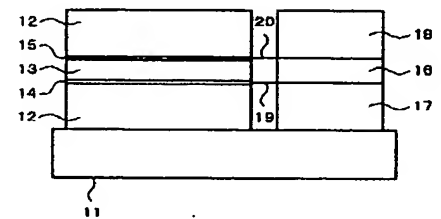
【図17】



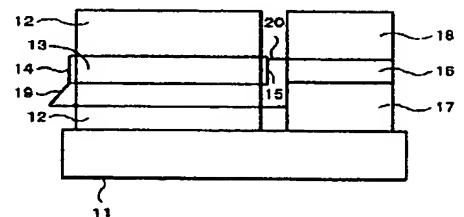
【図3】



【図15】



【図16】

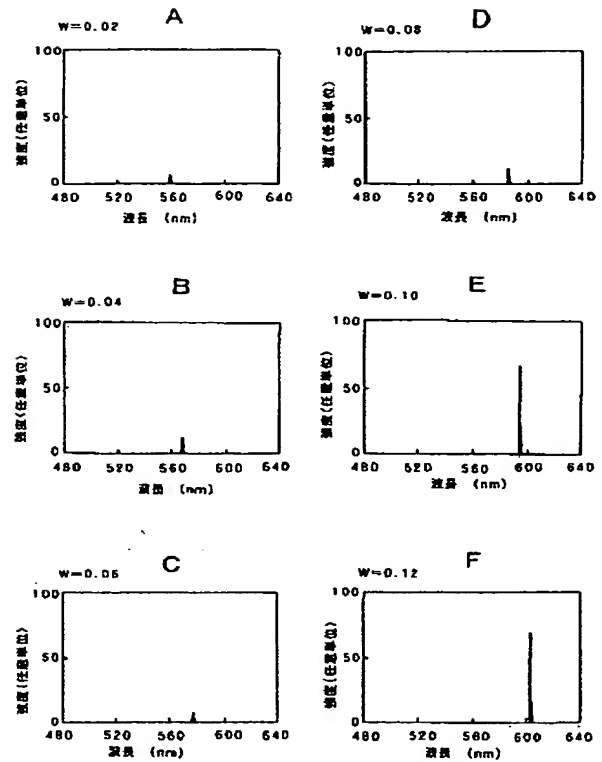


【図2】

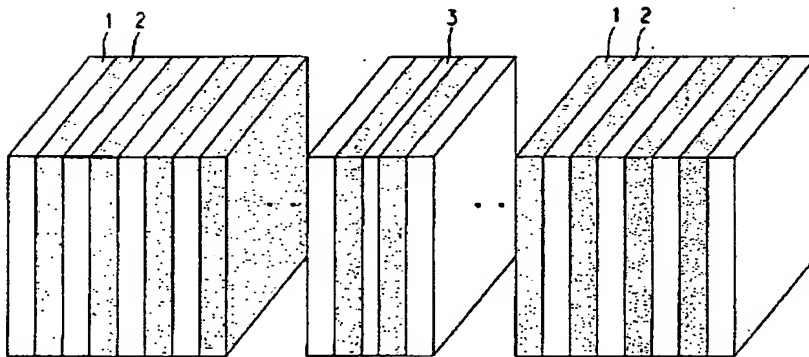
波長を中心に比較した電磁波と音波の相違

| | 音波（超音波） の名称 | 波長, λ | 電磁波の名称 |
|-------|----------------|---------------|--------|
| 10Hz | 超高频波超音波 | 380nm | 可視光線 |
| | | 780nm | 近赤外線 |
| | | 1.5 μ m | 中赤外線 |
| 1MHz | 高频波超音波 | 5 μ m | 遠赤外線 |
| | | 100 μ m | 極遠赤外線 |
| | | 1mm | ミリ波 |
| 20KHz | 可聴音波（高温） | 1cm | マイクロ波 |
| | | 10cm | 極超短波 |
| | | 1m | 超短波 |
| 20Hz | 可聴音波（低温） | 10m | 短波 |
| | 低周波音波 | | |

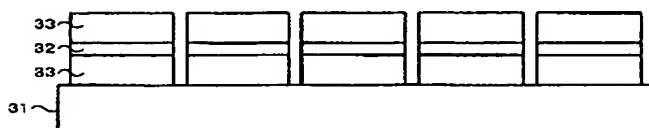
【図7】



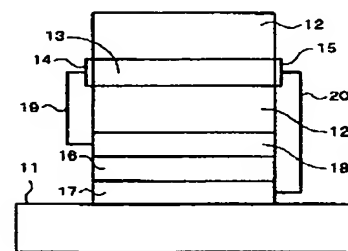
【図5】



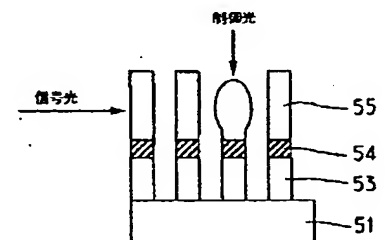
【図19】



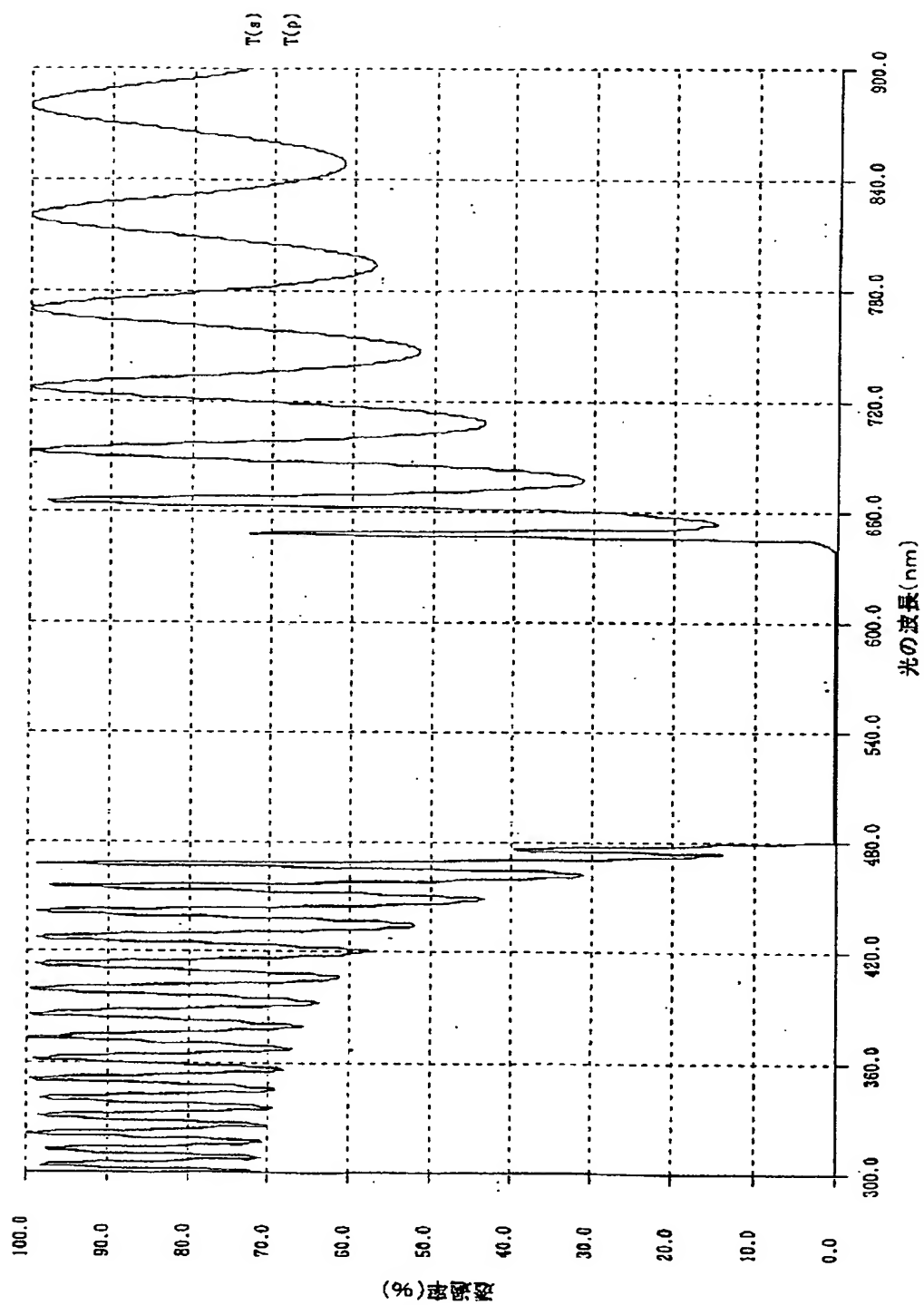
【図18】



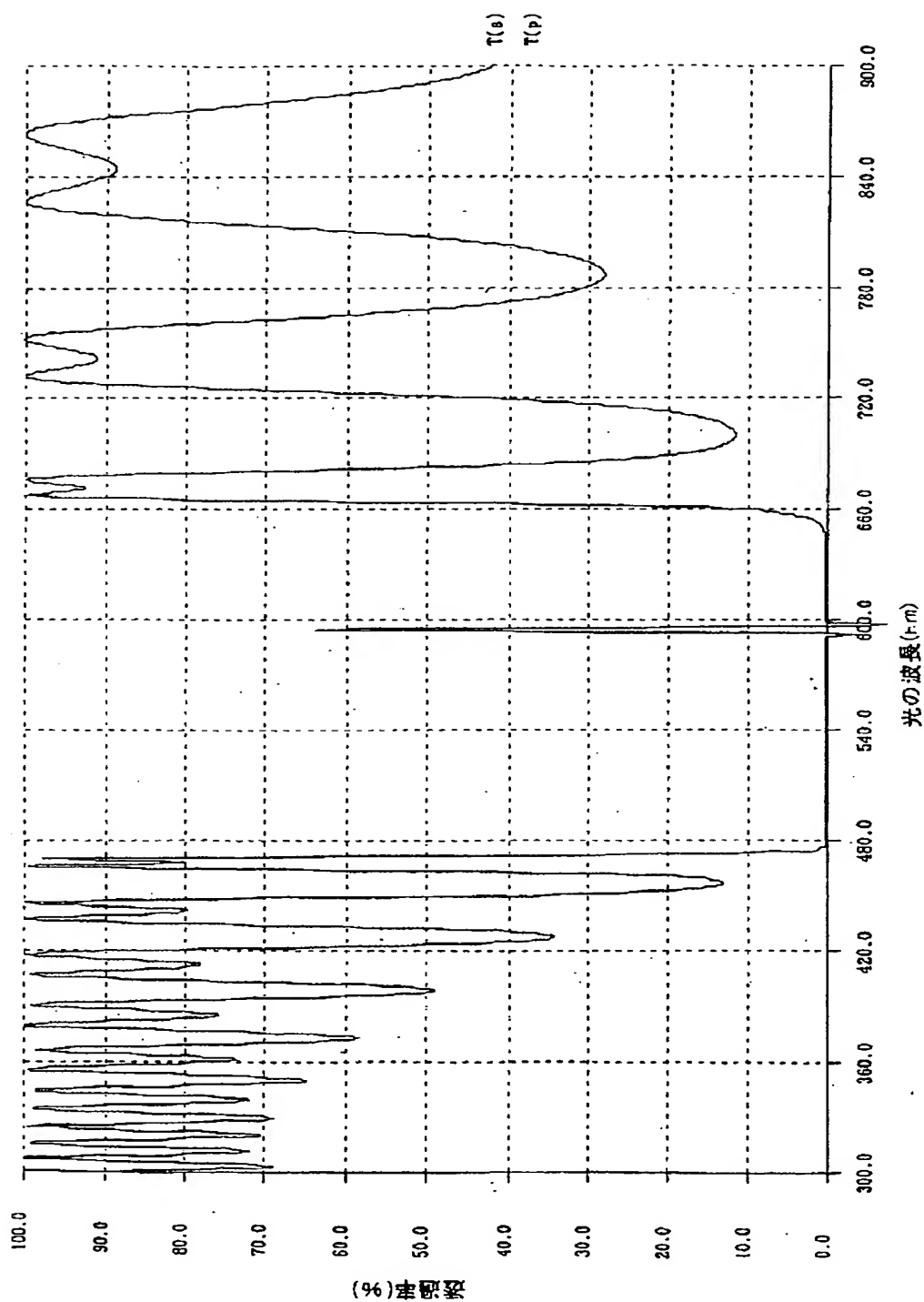
【図23】



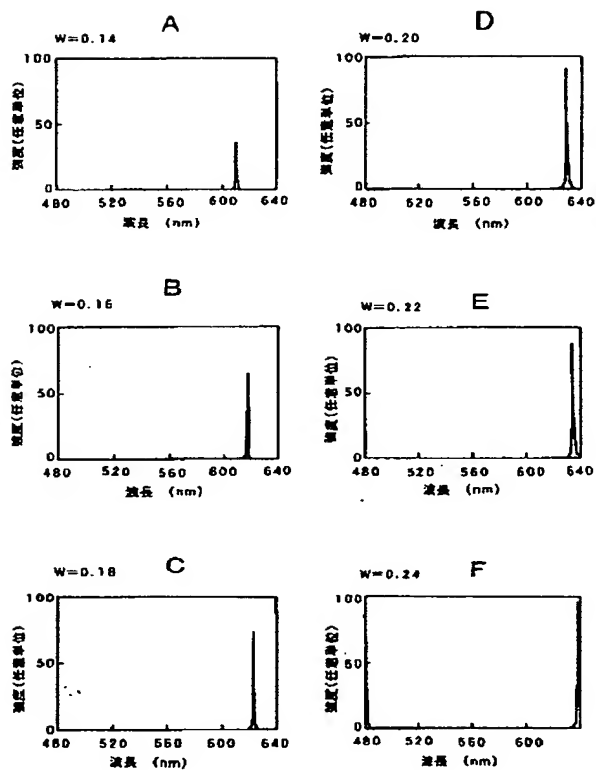
【図4】



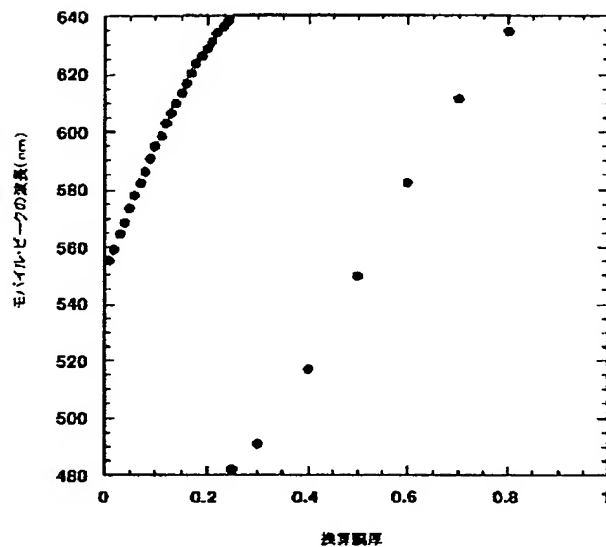
【図6】



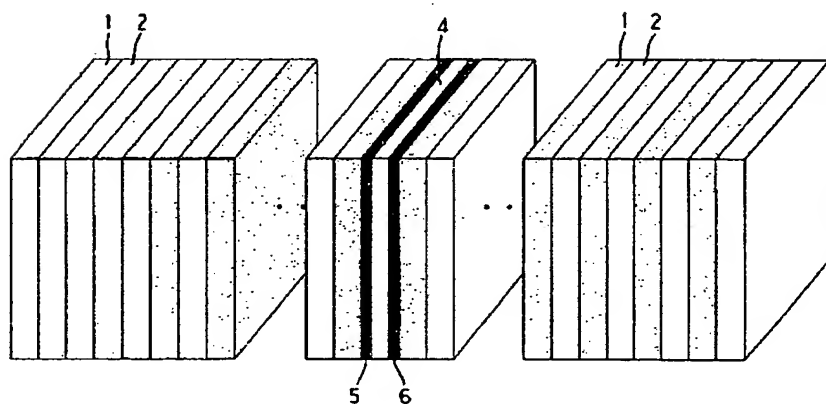
【図8】



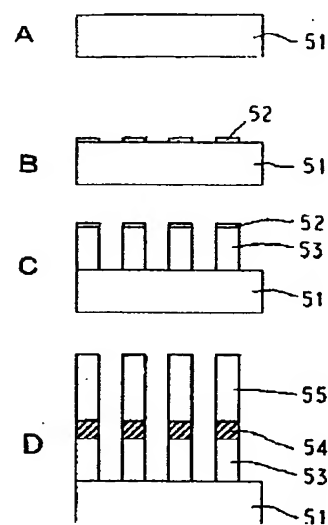
【図9】



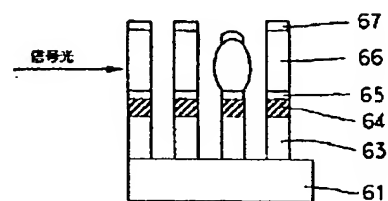
【図10】



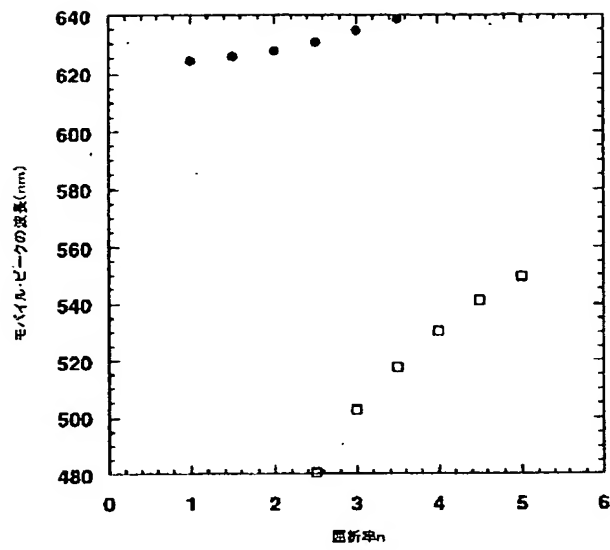
【図22】



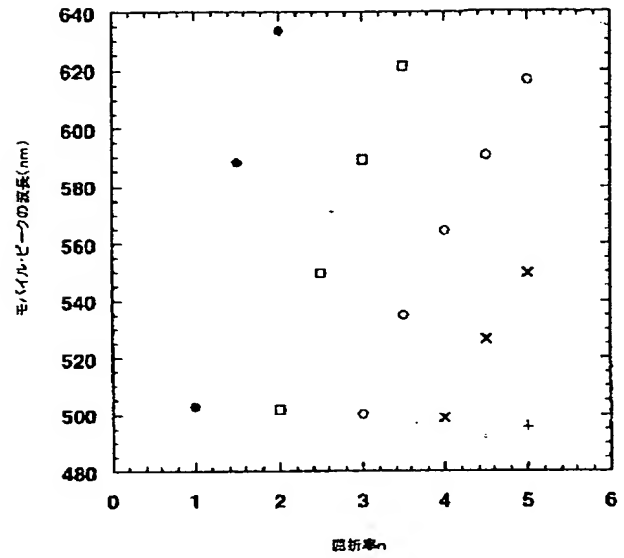
【図25】



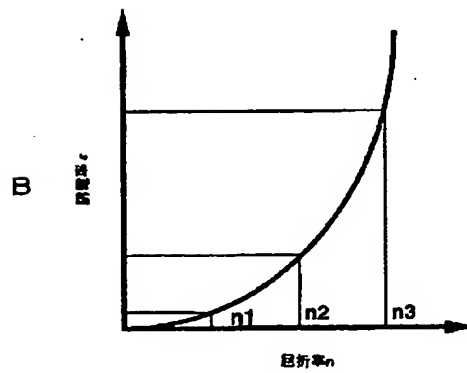
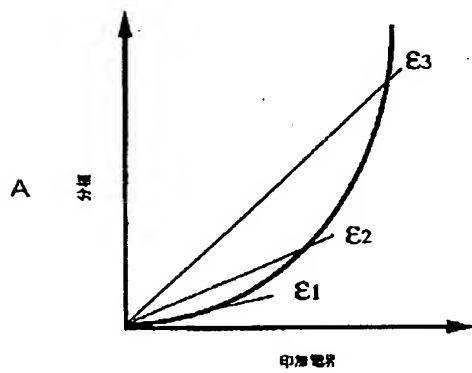
【図11】



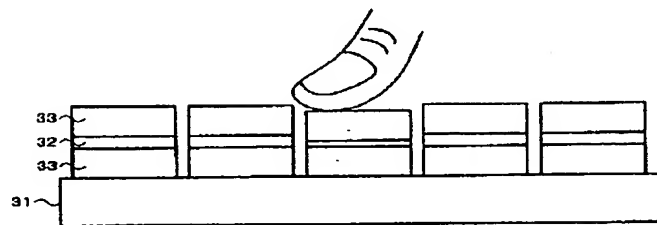
【図12】



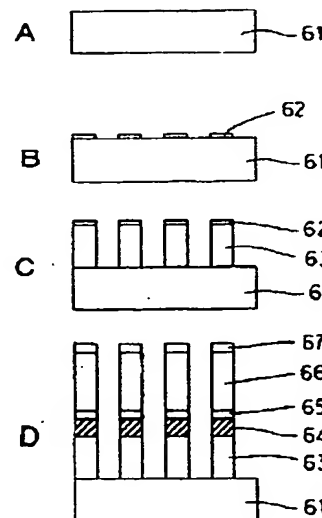
【図13】



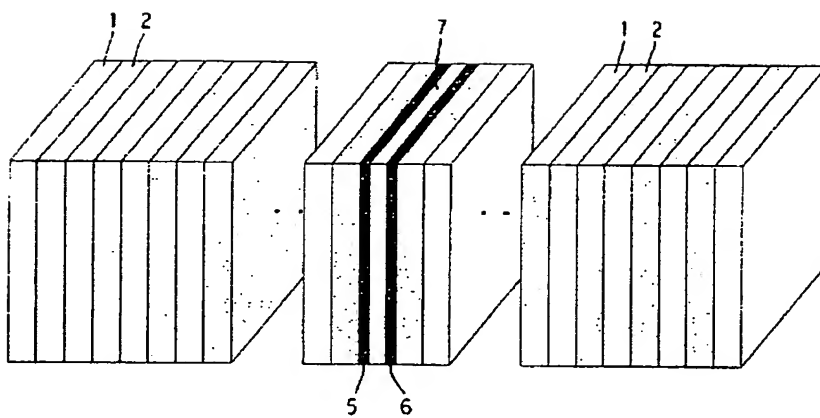
【図20】



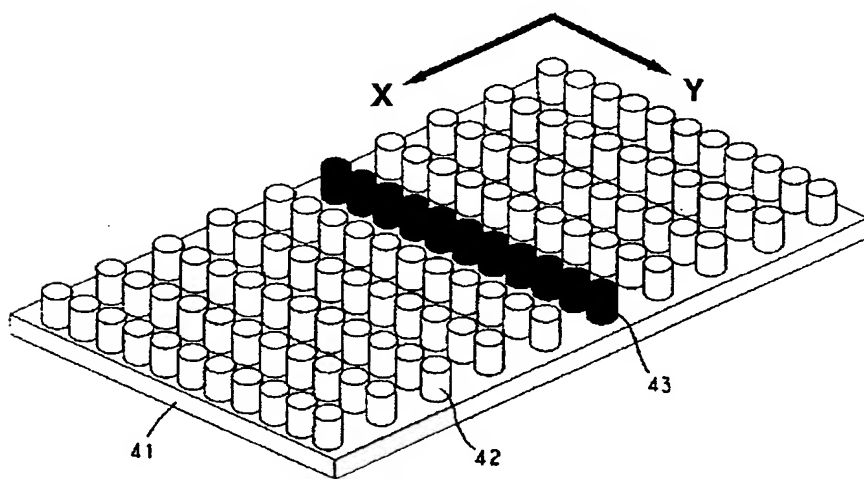
【図24】



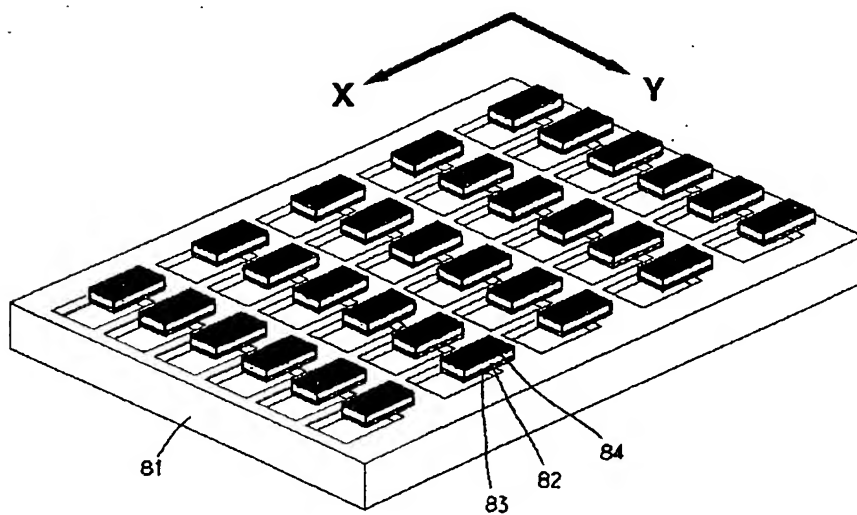
【図14】



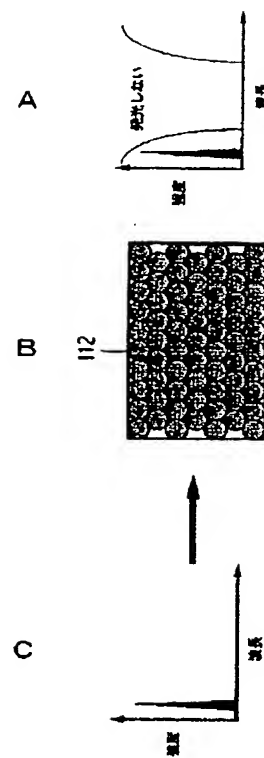
【図21】



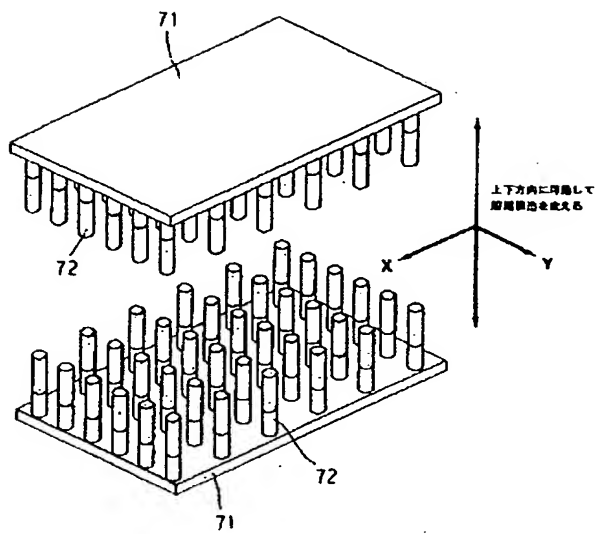
【図27】



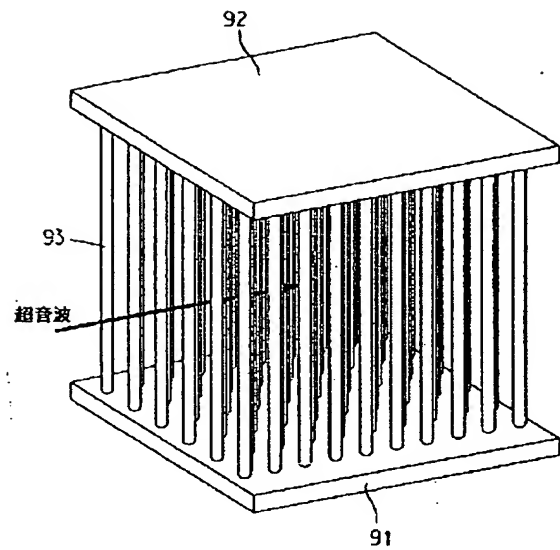
【図35】



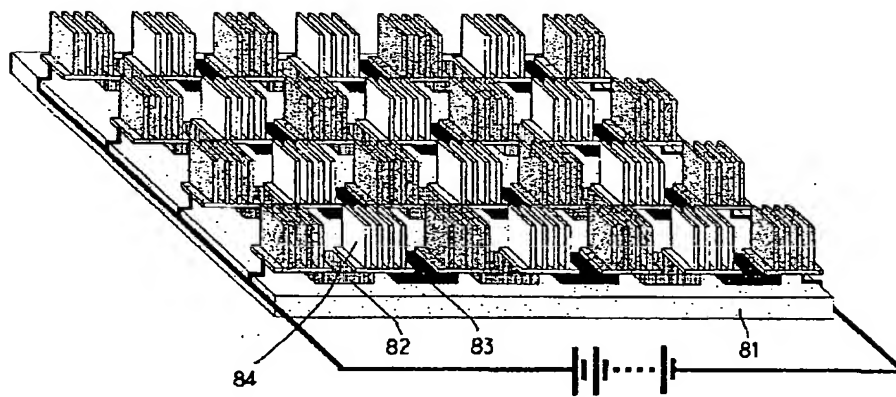
【図26】



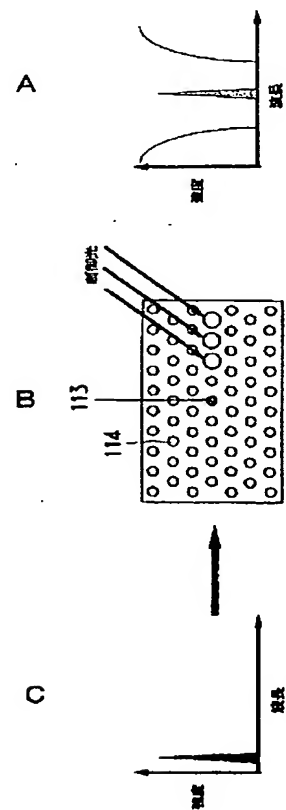
【図29】



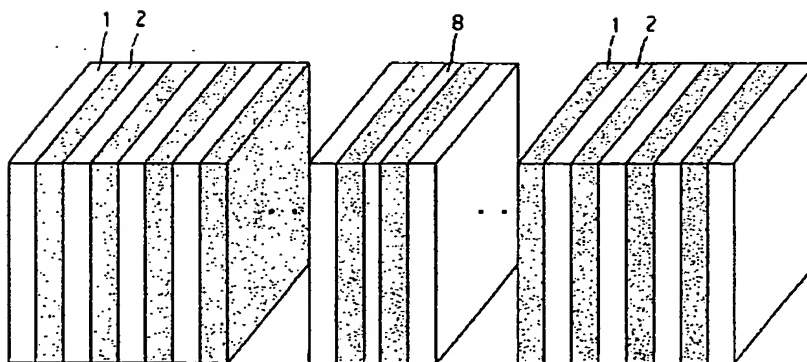
【図28】



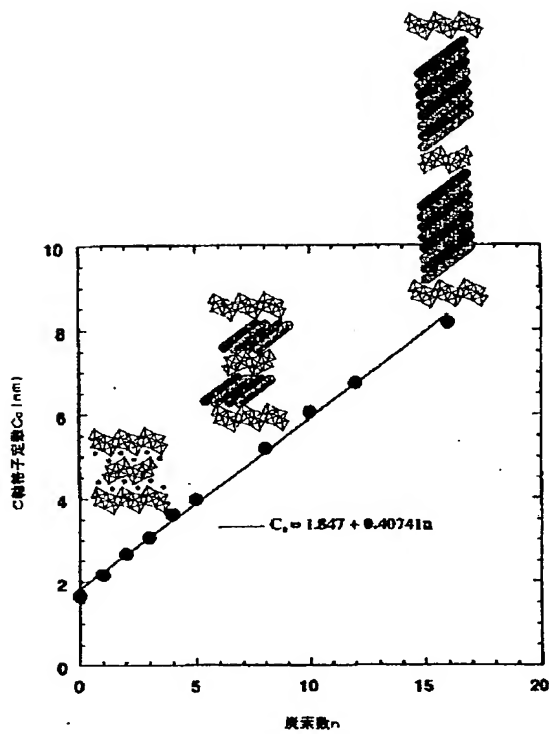
【図36】



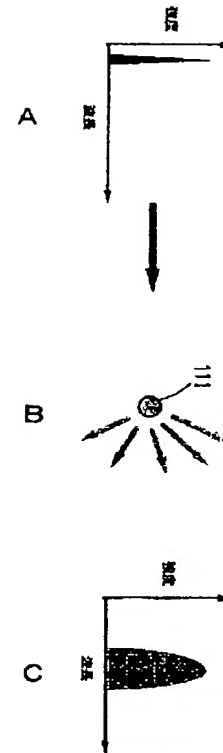
【図32】



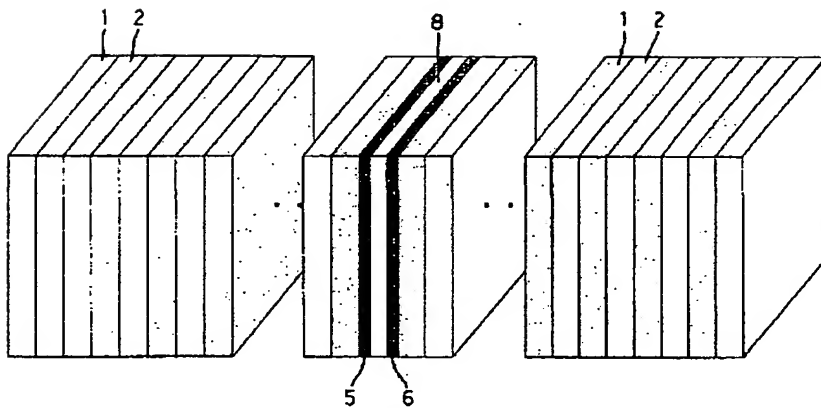
【図30】



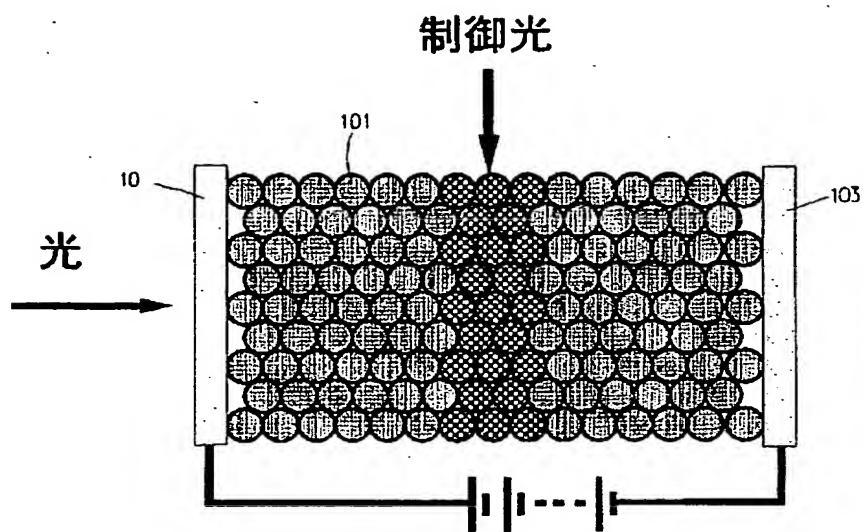
【図34】



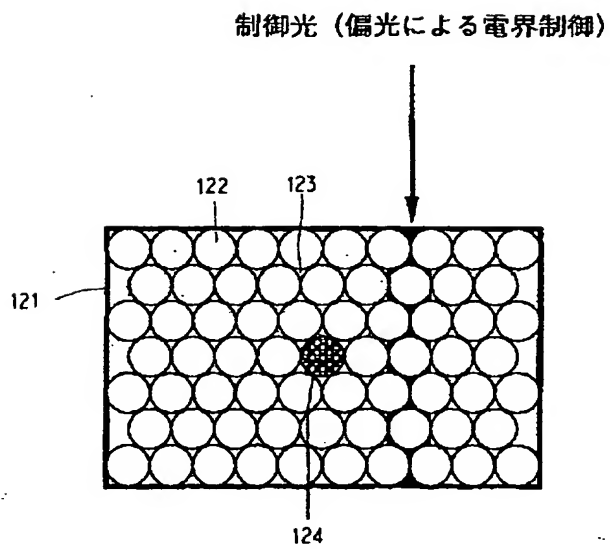
【図31】



【図33】



【図37】



This Page Blank (uspto)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

This Page Blank (uspt)